



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

**VARIANTY PRVNÍHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ PŘI
DVOUSTUPŇOVÉ ÚPRAVĚ VODY**

VARIANTS OF THE FIRST SEPARATION STAGE WITH TWO-STAGE WATER TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaromír Urban

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jaromír Urban
Název	Varianty prvního separačního stupně při dvoustupňové úpravě vody
Vedoucí práce	Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [2] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. Úprava vody a balneotechnika. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 164 s. ISBN 80-214-2563-6.
- [3] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. Vodárenství: Studijní opory. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
- [4] GRÜNWALD, Alexander. Zdravotně inženýrské stavby 40: Úprava vody. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 103 s. ISBN 80-01-01658-7.
- [5] HLAVÁČ, Jaroslav, et al. Vodárenství - Jímání a úprava vody, procesy, výpočty, konstrukce. Multimediální učebnice. 1. vydání. Brno: VAS, a.s., 2003.
- [6] Odborné časopisy a články ze sborníků vodohospodářských konferencí a seminářů.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce bude v první části formou rešerše pojednávat o možnostech použití vodárenských zařízení pro první separační stupeň úpravy vody z povrchového zdroje s kategorií jakosti surové vody A3. V druhé části práce bude proveden návrh vodárenských zařízení pro první separační stupeň alespoň ve dvou variantách.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je představit možnosti prvního separačního stupně při dvoustupňové úpravě surové vody na vodu pitnou. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V úvodu teoretické části se obecně zabývám zdroji surové vody, nároky na její jakost, možnostmi úpravy vody surové na vodu pitnou a rozdělením úpraven vod dle počtu separačních stupňů. Dále je podrobněji popsán první separační stupeň při dvoustupňové úpravě vody, zařízení a použité technologie pro daný stupeň úpravy a detailní informace o jednotlivých typech prvního separačního stupně.

V praktické části práce je proveden výpočet dvou vybraných typů prvního separačního stupně – usazovací nádrže a čířiče pro zadaný návrhový průtok $Q = 80 \text{ l/s}$. Následují výkresové přílohy dle výsledků z provedených výpočtů. Pro navrženou obdélníkovou usazovací nádrž s horizontálním průtokem i čířič s mechanickým vznosem vločkového mraku je zpracován půdorys, podélný a příčný řez.

KLÍČOVÁ SLOVA

zdroje vody, úprava vody, dvoustupňová úprava vody, první separační stupeň, usazovací nádrž, čířič

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is to introduce the possibilities of the first separation stage with the two-stage treatment of raw water for drinking water. The thesis is divided into the theoretical and practical part.

At the beginning of the theoretical part, I make research of raw water sources, requirements for their quality, the possibilities of water treatment for raw drinking water and the distribution of water treatment plants according to the number of separation stages. In addition, the first separation stage for two-stage water treatment is described in more detail, equipment and technology used for a given level of treatment and detail information of the individual types of the first separation stage.

In the practical part of the thesis, two selected types of the first separation stage - settling tank and clarifier for specified design flow $Q = 80 \text{ l/s}$ are calculated. The following drawings are based on previous calculations. For the proposed rectangular settling tank with a horizontal flow and a clarifier with a mechanical float cloud, the ground plan, longitudinal and cross section are processed.

KEY WORDS

water sources, water treatment, two-stage water treatment, first separation stage, settling tank, clarifier

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

URBAN, Jaromír. *Varianty prvního separačního stupně při dvoustupňové úpravě vody*. Brno, 2018, 73 s, 4 přílohy. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodní hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval za odborné rady, trpělivost a dohled vedoucí mé bakalářské práce Ing. Renatě Biele, Ph.D.

Rád bych také poděkoval všem, kteří mi byli po celou dobu mého studia oporou.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	ZDROJE SUROVÉ VODY	5
3	TYPY ÚPRAVY VODY	7
3.1	Typy úpravy vody podle počtu separačních stupňů.....	8
3.1.1	Jednoduchá úprava vody bez separačního stupně	8
3.1.2	Úprava vody s jednostupňovou separací.....	8
3.1.3	Úprava vody s dvoustupňovou separací.....	9
3.1.4	Úprava vody s vícestupňovou separací.....	10
4	DVOUSTUPŇOVÁ ÚPRAVA VODY Z POVRCHOVÉHO ZDROJE	12
4.1	Jímání vody z povrchových zdrojů.....	12
4.1.1	Jímací zařízení ve vodních tocích	12
4.1.2	Jímání ve stojatých vodách	13
4.2	Mechanické předčištění	15
4.2.1	Česle	15
4.2.2	Bubnové mikrosítové filtry	16
4.2.3	Lapáky písku.....	17
4.3	Koagulace	17
4.3.1	Koagulanty.....	18
4.3.2	Homogenizační zařízení	19
4.4	První separační stupeň	22
4.4.1	Usazovací nádrže	22
4.4.2	Čiřiče	27
4.4.3	Flotace	37
4.5	Druhý separační stupeň.....	41
4.5.1	Otevřené rychlofiltry.....	42
4.5.2	Tlakové rychlofiltry	43
4.6	Dezinfekce vody.....	45
4.6.1	Dezinfekce chlorem a jeho sloučeninami	46
4.6.2	Dezinfekce ozonem.....	47
4.6.3	Dezinfekce UV zářením.....	47
4.7	Zušlechťování vody.....	48
4.7.1	Obohacování vody	48
4.7.2	Odstranění pachů a příchutí	49
4.8	Kalové hospodářství.....	50
4.8.1	Zahušťování kalů	51
4.8.2	Odvodňování kalu.....	51
5	NÁVRH PRVNÍHO SEPARAČNÍHO STUPŇE	52
5.1	Usazovací nádrž	52

5.1.1	Vstupní údaje	52
5.1.2	Výpočet dle Hazenova principu [14]	52
5.1.3	Shrnutí výpočtu.....	56
5.2	Čiřič.....	56
5.2.1	Vstupní údaje	56
5.2.2	Výpočet velikosti čiřiče	56
5.2.3	Výpočet míchadla	58
5.2.4	Shrnutí výpočtů.....	59
6	ZÁVĚR	60
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	64
	SEZNAM PŘÍLOH.....	66
	SUMMARY	67

1 ÚVOD

Voda je život! Je to jedna ze základních, životně důležitých surovin pro člověka i přírodu. Vodu zatím nedokážeme nahradit žádnou syntetickou látkou. Lidstvo se již celá staletí snaží využít a ovlivnit vodu na naší planetě ve svůj prospěch, ať už se jedná přímo o vodu pitnou, závlahovou, průmyslovou, nebo snahu člověka některá území odvodnit nebo naopak zatopit za účelem zisku půdy, či využití vody jako zdroje energie. Zároveň se člověk dle historických zkušeností snaží chránit před rozmary tohoto živlu jako dlouhodobá sucha nebo záplavy. V nedávné minulosti při veškeré této činnosti člověk nebral ohledy na vyčerpatelnost nebo čistotu vodních zdrojů, což v některých regionech planety znamenalo extrémně rychlý pokles zásob pitné vody nebo redukci počtu využitelných zdrojů kvůli značnému znečištění vody. Ne každému však bylo lhostejné, jak se zachází s takto důležitým přírodním zdrojem, jako příklad uvádím listinu Evropské vodní charty, která byla vyhlášena 6. května 1968 ve Strasbourgu. [1]

Její obsah se dá shrnout takto:

- I. Bez vody není života. Voda je drahocenná a pro člověka ničím nenahraditelná surovina.
- II. Zásoby sladké vody nejsou nevyčerpatelné. Je proto nezbytné tyto udržovat, chránit a podle možností rozhojňovat.
- III. Znečišťování vody způsobuje škody člověku a ostatním živým organismům, závislým na vodě.
- IV. Jakost vody musí odpovídat požadavkům pro různé způsoby jejího využití, zejména musí odpovídat normám lidského zdraví.
- V. Pro vrácení použité vody do zdroje nesmí tato zabránit dalšímu jeho použití pro veřejné i soukromé účely.
- VI. Pro zachování vodních zdrojů má zásadní význam rostlinstvo, především les.
- VII. Vodní zdroje musí být zachovány.
- VIII. Příslušné orgány musí plánovat účelné hospodaření s vodními zdroji.
- IX. Ochrana vody vyžaduje zintenzivnění vědeckého výzkumu, výchovu odborníků a informování veřejnosti.
- X. Voda je společným majetkem, jehož hodnota musí být všemi uznávaná. Povinností každého je užívat vodu účelně a ekonomicky.
- XI. Hospodaření s vodními zdroji by se mělo provádět v rámci přirozených povodí, a ne v rámci politických a správních hranic.
- XII. Voda nezná hranic, jako společný zdroj vyžaduje mezinárodní spolupráci. [1]

V České republice je považována změna názorů na vodu a její zdroje, dříve jako na pouhou surovinu, po roce 1989 za velmi pozitivní krok k ochraně zásob sladké vody a k transformaci jejího užívání napříč celou společností. Můžeme tak během posledních let pozorovat zvyšující se životní úroveň, která bezprostředně souvisí se schopností poskytnout obyvatelstvu základní životní potřeby, pitnou vodu nevyjímaje. Voda je také využívána v čím dál více technologiích používaných napříč různými odvětvími průmyslu. I přes stále početnější možnosti využití vody je v důsledku růstu cen a tenčících se zásob pitné vody kladen důraz na efektivní využívání a následné čištění použité vody.

Dnes se snažíme docílit uzavřeného koloběhu pitné vody užívané v náš prospěch. Nejprve je voda odebrána z přirozeného prostředí pomocí různých jímacích objektů, dle typu zdroje surové vody. Většina zdrojů však vykazuje některé negativní vlastnosti, ve většině případů tedy provádíme úpravu surové vody na vodu pitnou. Za vodu pitnou lze označit pouze takovou, která vyhovuje požadavkům platné legislativy, s ohledem na zdravotní nezávadnost a vliv na životnost distribuční sítě. V České republice je aktuální Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Po úpravě je pitná voda akumulována a poté distribuována v požadovaném tlaku a množství odběratelům. Po jejím použití se z ní stává voda odpadní, kterou se snažíme odvádět a čistit buď na centrálních čistírnách odpadních vod, nebo na čistírnách odpadních vod umístěných přímo u producenta odpadní vody. Vyčištěnou vodu, která nebude nepůsobit znečištění, se snažíme vracet zpět do přírody.

2 ZDROJE SUROVÉ VODY

Zdroje vody podle výskytu v přírodním prostředí dělíme na podzemní a povrchové.

Podzemní vody jsou veškeré vody nacházející se pod povrchem Země, jsou to vody nalézající se ve vrstvách zvodnělých hornin bez ohledu na to, zda vzniká či nevzniká souvislá vodní hladina a v půdách kde podzemní vody vytváří souvislou hladinu. V podstatě existují tři typy těchto prostorů:

- póry, mikroskopické a drobné prostory všesměrné orientace,
- pukliny, rozdělovací plochy hornin, trhliny a odlučné plochy v horninách technického původu, břidličnatost krystalických břidlic,
- dutiny, prostory i značných rozměrů, které vznikly vyluhováním pórů a puklin nebo vyplavováním jejich výplně zvláště v krasových útvarech.

Podzemní vody lze rozdělit dle mnoha kritérií, jak je uvedeno v textu níže.

Podle obsahu rozpuštěných látek:

- prosté (s obsahem látek do 1 000 mg/l),
- slabě mineralizované (1 000 až 5 000 mg/l),
- středně mineralizované (5 000 až 15 000 mg/l),
- silně mineralizované (nad 15 000 mg/l).

Podle hydraulických poměrů zvodnělého prostředí lze podzemní vody rozdělit na:

- vody s volnou hladinou,
- vody s napjatou hladinou, takzvané artéské.

Podle propustnosti horninového prostředí podzemní vody rozlišujeme na:

- vody průlinové,
- vody puklinové,
- vody krasové. [1], [2]

Podzemní vody jsou ve většině případů nej kvalitnějším zdrojem pitné vody. Jejich chemické složení vždy souvisí s materiálem se kterými přišly do styku. Z různorodých vrstev se voda obohacuje celou řadou látek ať už minerálních či organických a některé důsledkem působení okolí zase předává a zbavuje se jich. Voda, která prošla skrz jemné póry půdní vrstvy, přičemž změnila svoje složení, vlastnosti a má stálou teplotu, je ve většině případů nejlepším zdrojem pitné vody bez obsahu organických látek, bakteriologicky neškodná a často obohacená prospěšnými minerálními látkami. Je zde samozřejmě nutné podotknout, že i přes toto tvrzení je vždy nutné každý potenciální podzemní zdroj nejprve testovat na obsah nebezpečných látek. Ty mohou do podzemí zasakovat v oblastech s průmyslem (špatné skladování nebezpečných odpadů), nebo intenzivním zemědělstvím (vsakování použitých pesticidů a hnojiv). Sanace takto kontaminovaného zdroje je velice technicky, ekonomicky i časově náročný proces, který je však pro některá místa jedinou možností, jak zaručit dostatek pitné vody pro rozvíjející se populaci obyvatelstva. [2], [3]

Vody na zemském povrchu, ať již trvalé či dočasné, označujeme jako **vody povrchové**. Vznikají spojením atmosferických (srážkových) a podzemních (prosakujících či vyvěrajících) vod do recipientu. Tento útvar, který odvádí nebo zadržuje povrchové vody z daného území je buď přírodního nebo umělého, tedy člověkem vytvořeného, původu. Z výše uvedeného vyplývá, že povrchové vody se dle typu recipientu (respektive pohybu vody v něm) dělí na tekoucí a stojaté. Vodním tokem můžeme nazvat koryto, umělé nebo přírodní, v němž proudí voda. Naopak přirozenou či umělou akumulací vody vznikají vodní nádrže. Tyto potenciální zdroje vody mají jeden, nebo více účelů využití. V dnešní době je však preferována víceúčelovost.

Na rozdíl od vody podzemní se kvalita vody povrchové mění po délce i šířce toku, popřípadě na hloubce v nádrži. Anorganické látky se v tocích a nádržích nevyskytují v takovém množství, běžně nabývají hodnot v řádech desítek až stovek mg/l. Celkový obsah rozpuštěných látek dosahuje 500 mg/l, vyšší hodnoty jsou výjimkou. V povrchových vodách lze nalézt mnohé anorganické látky jako například chloridový a síranový iont (jednotky až desítky mg/l), v závislosti na organickém znečištění různé formy dusíku (amoniakální dusík, dusitany a dusičnany) a mnohé další prvky, které se však v čistých vodách vyskytují v koncentraci do 1 mg/l, jako fosforečnany, železo, mangan. Malý obsah železa a manganu je přímým důsledkem samovolně probíhajících procesů (oxidace, hydrolýza), tímto způsobem jsou oba prvky vyloučeny ve formě málo rozpustné sraženiny hydratovaných oxidů.

Díky rozpouštění ze vzduchu a biologickým procesům při rozkladu organických látek se v povrchových vodách objevuje oxid uhličitý. Není většinou obsažen více než několika mg/l, ale má zásadní vliv na hodnotu vodíkového exponentu. Výskyt CO_2 je do značné míry ovlivněn ročním obdobím, kdy v zimním období dosahuje vyšších koncentrací (pH 6,5 – 7,7) zatímco v době rostlinného bujení, tedy v létě, je ho méně (pH až 8,8). Nízké hodnoty klesající pod pH 4,0 můžeme sledovat v rašeliništích.

Všechny z doposud uvedených prvků mají svou nezastupitelnou funkci, ale největší význam pro schopnost vzniku a rozšiřování života, jakož i samočisticí schopnost toku má rozpuštěný kyslík. Jeho koncentrace je přímo závislá na teplotě, obsahu organických látek a intenzity fotosyntézy. Opět můžeme tedy pozorovat značný rozdíl obsahu rozpuštěného kyslíku mezi letním (8 až 12 mg/l) a zimním (6 až 8 mg/l) obdobím.

Ve značném obsahu můžeme nalézt v povrchových vodách látky organického původu. Ty se mohou do toků a nádrží dostat přirozeně (produkty životní činnosti vodních organismů nebo látky z rozkladu rostlinných zbytků) nebo dnes ve značné míře uměle (odpadní vody splaškové i průmyslové).

U nekontaminovaných vod lze naměřit hodnoty chemické spotřeby kyslíku (CHSK_{MN}) a biologické spotřeby kyslíku (BSK_5) v jednotkách mg/l. U znečištěných vod narůstají tyto hodnoty na desítky až stovky mg/l. [1], [2]

3 TYPY ÚPRAVY VODY

Mezi základní principy či způsoby úpravy vody patří úprava vody fyzikální, chemická, biologická a mikrobiologická.

K fyzikální procesům úpravy vody patří například:

- cezení vody,
- hrubé či jemné odlučování nečistot,
- mechanické provzdušnění (aerace) vody,
- prostá flotace vody,
- prostá sedimentace vody,
- prostá (mechanická) filtrace vody,
- adsorpce vody.

Mezi chemické procesy úpravy vody patří například:

- koagulace po nadávkování chemikálií,
- flotace po nadávkování chemikálií,
- flotace nadávkované vody,
- čiření nadávkované vody,
- sedimentace nadávkované vody,
- koagulační filtrace nadávkované vody,
- filtrace nadávkované vody,
- chemické odželezování a odmanganování vody,
- chemické odkyselení vody,
- chemické zušlechťování vody (například následná ozonizace),
- dezinfekce vody,
- iontová výměna,
- a další.

K biologickým a mikrobiologickým procesům úpravy vody řadíme:

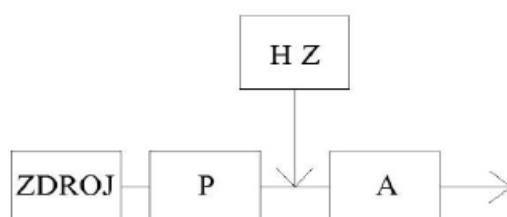
- likvidace producentů konzumenty (děje se v přírodním prostředí mimo úpravnu vody),
- likvidace organického a anorganického znečištění působením mikroorganismů živočišného či rostlinného původu (jedná se o aerobní mikroorganismy a řasy), aerobní mikroorganismy a řasy odstraňují vedle organického znečištění i nežádoucí mikroby a koliformní zárodky, proces je nazýván mineralizací organického znečištění. [4]

3.1 TYPY ÚPRAVY VODY PODLE POČTU SEPARAČNÍCH STUPŇŮ

Nejprve je nutné si uvědomit, co vlastně znamená slovo separace. **Separace** je výsledné odstranění nežádoucích látek z upravované vody. Odstraňovány jsou tři druhy látek, a to látky přírodně obsažené ve vodě, uměle vniklé vlivem znečištění a různé prostředky úpravy (flokulanty, koagulanty a mnohé další). [4]

3.1.1 Jednoduchá úprava vody bez separačního stupně

Tento princip je vhodný pouze pro vody s minimálním znečištěním, ovlivněním a vhodným množstvím aniontů odpovídajících požadavkům na upravenou vodu. Mezi takovou úpravu patří mechanické provzdušnění (aerace) vody. Tato technologie se využívá u vhodných podzemních vod s malým obsahem dvojmocného železa a manganu. Provzdušněním lze z upravované vody odstranit nežádoucí pachy a plyny (volný oxid uhličitý, sirovodík, bahenní plyn, metan apod.). Je zde i možnost využití provzdušňovací (oxidační) schopnosti této metody u vod chudých na kyslík, které mají negativní vlastnosti organoleptické (chuť, pach) i na materiál rozvodného potrubí a spotřebičů. Ve většině případů se v praxi tento druh úpravy vody využívá k odstranění oxidu uhličitého v takzvaných odkyselovacích úpravnách. Schéma úpravny pouze s mechanickou aerací je na obr 3.1. [3], [4]



P – provzdušnění vody, A – akumulace vody, HZ – hygienické zabezpečení

Obr. 3.1 Blokové schéma jednostupňové úpravy vody bez separačního stupně [4]

3.1.2 Úprava vody s jednostupňovou separací

U tohoto typu jsou veškeré nežádoucí látky odstraněny pomocí jediného separačního zařízení v rámci celého procesu úpravy vody. Na úpravnách vod je tento stupeň zastoupen vždy filtrací. Přičemž rozlišujeme:

- pomalou biologickou filtraci,
 - mechanickou prostou filtraci s filtrovanou vodou bez aplikace koagulantu,
 - koagulační filtraci s aplikací chemického prostředku pro vznik koagulace (koagulantu).
- [4]

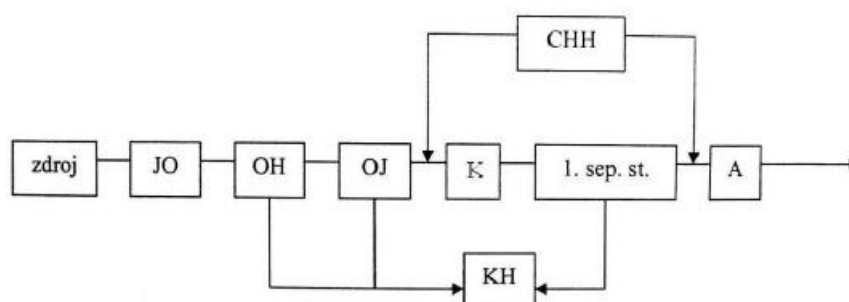
Tím, že se při tomto druhu úpravy vody spoléháme pouze na jeden separační stupeň, je ve většině případů nutné zavést proces předúpravy a dóupravy vody. Dle druhu zdroje vody je pak nutné použití rozdílné technologie předsazené před separační zařízení (pro nutnost úplné separace na jeden pokus) a následně (pro zajištění vhodných vlastností). [3], [4]

U podzemního zdroje můžeme zvolit jako předúpravu například:

- mechanickou aeraci (oxidace dvojmocného železa a manganu do separovatelné podoby),
- dávkování chemikálií pro oxidaci dvojmocného železa a manganu s následnou flokulací
- dávkování alkalizačního činidla za účelem změny pH. [4]

Dle vlastností podzemního zdroje surové vody vybereme vhodnou variantu předúpravy, následuje jedna z možností filtrace a jako dóupravu vždy použijeme desinfekci vody. Hygienické zabezpečení se vždy aplikuje před akumulací a distribucí vody do spotřebiště. Variantně můžeme před dávkování desinfekčního prostředku vodu zušlechtit. [4]

U povrchové surové vody máme pouze dvě možnosti předúpravy, a to koagulaci a flokulaci. Poté je nutná koagulační filtrace pro separaci nežádoucích látek. U těchto zdrojů je pak ještě důležitější následná dóuprava dezinfekcí, popřípadě alkalizace pro úpravu pH pitné vody na hodnoty odpovídající požadavkům na distribuci pitné vody. Schéma úpravní s jedním separačním stupněm s povrchovým zdrojem surové vody je na obr. 3.2. [3], [4]



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace,
CHH – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství, A – akumulace

Obr. 3.2 Blokové schéma úpravní s jednostupňovou separací [4]

3.1.3 Úprava vody s dvoustupňovou separací

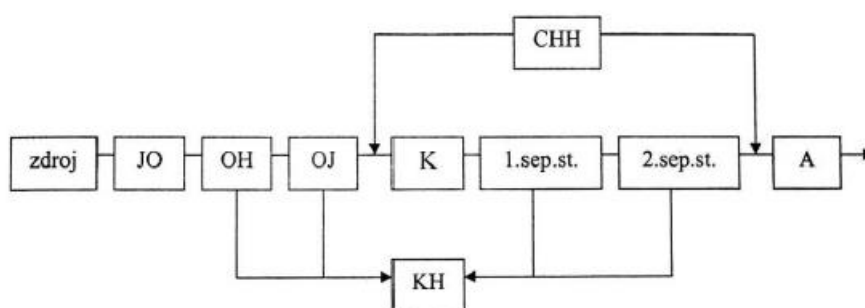
Rozhodnutí kolik separačních stupňů bude zapotřebí, vychází z celkového množství železa a manganu obsažené v surové vodě u podzemních vod (jdnostupňová úprava v případě kdy $\sum \text{Fe} + \text{Mn} < 5 \text{ mg/l}$), u vody povrchové je ukazatelem množství nadávkovaného koagulantu (u jdnostupňové úpravy $< 20 - 25 \text{ mg/l}$). Je tedy zřejmé, že při vyšších koncentracích suspendovaných, koloidních či rozpuštěných látek a při vyšší spotřebě koagulantu je nutné použití dvou separačních zařízení pro odstranění těchto nežádoucích látek.

I zde je možnost předúpravy a dóupravy vody, tyto možnosti jsou závislé na znečištění a neliší se od použitých technologií u jednostupňové separace vody. Jako druhý stupeň separace je u pitné vody vždy zařazena filtrace.

Prvním separačním stupeň bývají:

- mikrofiltry,
- filtry (pak se jedná o dvoustupňovou filtraci),
- sedimentační nádrže různého typu a různého konstrukčního řešení,
- čířiče s vločkovým mrakem,
- flotace vody.

Schéma úpravy pro povrchový zdroj s využitím dvou separačních stupňů je na obr. 3.3. [3], [4]



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace,
CHH – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství, A – akumulace

Obr. 3.3 Blokové schéma úpravy vody s dvoustupňovou separací [4]

3.1.4 Úprava vody s vícestupňovou separací

K více separačním stupňům se přistupuje ve chvíli, kdy je kladen zvýšený nárok na výstupní kvalitu vody nebo je zdroj vody značně znečištěn. Variant docílení lepších výsledků úpravy je mnoho ať již zařazením více separačních stupňů, nebo použitím dvou separačních stupňů s následnou dóupravou vody, která je schopna nahradit třetí separační stupeň. Jako dóuprava může být použita ozonizace pro zušlechtnění vody nebo provzdušnění a mnohé další. Zařazení jednotlivých technologií je zobrazeno na obr. 3.4.

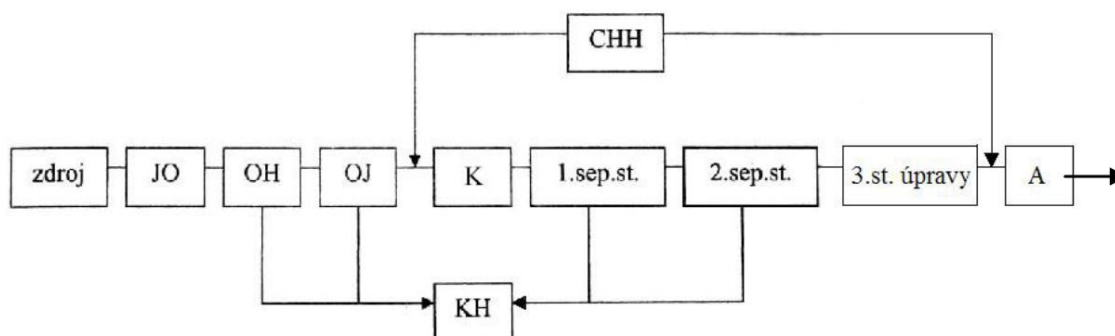
Úprava se třemi stupni separace může mít tyto stupně:

u vody podzemní

- sedimentace – 1. separační stupeň,
- odželezovací filtry – 2. separační stupeň,
- odmanganovací filtry – 3. separační stupeň,

u vody povrchové

- sedimentace nebo čířič a nebo flotace – 1. separační stupeň,
- písková filtrace – 2. separační stupeň,
- filtrace s aktivním uhlím – 3. separační stupeň v rámci doúpravy vody
nebo
- sedimentace (číření, flotace) – 1. separační stupeň,
- písková filtrace – 2. separační stupeň,
- pomalá, biologická filtrace – 3. separační stupeň v rámci doúpravy. [3], [4]



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace, CHH – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství, 3. stupeň úpravy – (3. stupeň separace, doúprava vody, zušlechťování vody), A – akumulace

Obr. 3.4 Blokové schéma úpravní vody s vícestupňovou úpravou [4]

4 DVOUSTUPŇOVÁ ÚPRAVA VODY Z POVRCHOVÉHO ZDROJE

4.1 JÍMÁNÍ VODY Z POVRCHOVÝCH ZDROJŮ

Pro odběr povrchové vody využíváme jímací zařízení:

- v tekoucích vodách (z vodních toků),
- ve stojatých vodách (z nádrží přírodních či umělých).

4.1.1 Jímací zařízení ve vodních tocích

Vodní tok můžeme využít jako zdroj surové vody v případech, kdy jeho kvalita dovoluje úpravu na kvalitu pitné vody dle vyhlášky, za použití běžných technologických prostředků. Zároveň provoz odběru z řečiště nesmí ohrozit funkci toku pro ostatní uživatele a průtok nesmí klesnout pod stanovenou minimální hodnotu. Jímací objekty budujeme, pokud možno na stabilním úseku vodního toku. V případech, kdy takové podmínky nejsou na ideálním místě odběru ani ve vyhovující vzdálenosti od něj, je nutné tok v dostatečné délce upravit. Zvláštní důraz musí být kladen na zamezení zanášení odběrného zařízení. V provozu také nesmí bránit chod ledu a jeho účinky. U splavných toků musí být dodrženy nároky lodní dopravy.

V tekoucích vodách se využívají jímadla:

- řečištní (nade dnem nebo ve dně koryta toku),
- břehová. [3], [4]

Jímání vody ve dně koryta toku

Je vhodné u toků s bystřinným charakterem proudění. Objekty nesmíme vystavit riziku zanesení usazením suspendovaných látek, nelze je tedy budovat v místech snížené rychlosti vody. Zároveň odběrný objekt nesmí zmenšovat průtočný profil toku a vyvolávat ukládání sedimentu. Do nákladů je kromě zbudování a údržby u těchto zařízení nutné počítat s jejich pravidelným čištěním. Jako jímací objekt se u větších toků používá jímací žlab nebo jímací drén, v případě menších toků je voda odebírána bodově. Pokud tok unáší s proudem vody pouze hrubé částice (štěrk), lze navrhnout česly chráněný jímací žlab napříč korytem. V dolních částech toku jsou již splavovány drobnější usazeniny (drobný štěrk, hrubý písek), je tedy nutné odběrný objekt vyřešit jako jímací drenážní potrubí (minimální DN 100) zasypané hrubým filtračním štěrkem. Jedná se většinou o nízký stupeň ve dně se štěrkovou propustí. Stavba je z provozních důvodů budována na samostatně oddělitelné (uzavíratelné) části, pro možnost čištění i výměny štěrkového filtru. Rychlost vody v potrubí při odběru musí dosahovat dostatečných rychlostí, pro zabránění usazení stržených částic. Předpokládáme obsah jemných částic v odebírané vodě, proto je vhodné před dopravou surové vody v systému umístit do břehu lapač písku, do něhož bude zaústěno odběrné potrubí nebo žlab. V menších tocích se odběr řeší bodově, a to v prostoru pod přelivem. Jímání je zde řešeno potrubím, které je zaústěné do jímky pro usazení jemných splavenin. [3], [4]

Jímání vody nade dnem řečiště

Tuto možnost využíváme na úsecích širších toků s nestabilními břehy, nebo rozkolísaností průtoků mající za následek nedostatečnou hloubku vody u břehů.

Objekt musí být umístěn v proudnici, kde nehrozí hromadění nánosů. Výška nátoky odběru se volí tak, aby byl minimálně 0,7 m nade dnem a zároveň 0,5 m pod hladinou. Vtok je nutné ochránit před účinky tekoucí vody, průchodu ledu a většími plovoucími předměty. Jsou na něm také osazené česle proti vniku nečistot. Potrubí se ve většině případu umísťuje pod dno, voda je svedena do jímky na břehu, kde usadí stržené jemné částice a až poté se voda dopravuje na další technologie. Veškeré části tohoto objektu se doporučuje navrhovat zdvojené se samostatnými uzávěry. [3], [4]

Břehové jímací objekty

Tohoto způsobu jímání se v našich podmínkách využívá velmi často. V České republice je mnoho vhodných toků se stabilním dnem i břehy a dostatečným průtokem pro zachování minimálního množství tekoucí vody v korytě za současného odběru. Těmito parametry většinou vyhovují střední a dolní toky. Nespornou výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost po technické i prováděcí stránce, dále je vhodné i z hlediska snadné údržby.

Pro výstavbu těchto objektů jsou vhodné úseky s minimálním zanášením splaveninami, pokud je daná část toku v oblouku, je vhodné umístit odběr do vrcholu konkávní části meandru. Vždy je nutné opevnění proti vymílání. Při odběru vody nesmí docházet k víření sedimentů, tomuto požadavku je nutné uzpůsobit úroveň dna vtoku. Pro dodržení požadovaného odebíraného množství za každého stavu vodního toku umísťujeme odběrné potrubí, vybavené uzávěrem, pod minimální hladinu. Voda se přivádí odběrným potrubím do uklidňovací jímky, ta je vybavena jemnými česlemi s důrazem na návrh umožňující snadnou údržbu, a hlavně čištění česlí i usazovacího prostoru komory. Následuje čerpací jímka, odkud je voda přečerpávána na úpravnu vody. V našich podmínkách lze jen ojediněle celý systém dopravování vody od zdroje do úpravy vody navrhnout a spolehlivě provozovat pouze gravitačním způsobem. S ohledem na bezproblémový chod objektu po celý rok včetně zimního období je vhodné řešit ochranu proti ledové kaši, pokud se tento jev na daném toku vyskytuje. Velmi účinným opatřením je zbudování norné stěny před vtokovou částí. Ta zabrání proniknutí plovoucí ledové kaše do vtokového prostoru. V odběrném potrubí nesmí dojít k zanášení strženými částicemi, jeho profil musí být navržen na odpovídající průtokovou rychlost při odběru. U důležitých zdrojů navrhujeme zdvojené potrubí. S ohledem na rychlejší provádění stavby často budujeme jímací objekt a čerpací stanici jako jeden sdružený objekt. [3], [4]

4.1.2 Jímání ve stojatých vodách

Oproti vodním tokům nádrže vykazují stabilnější kvalitativní i kvantitativní podmínky. Na druhou stranu je mnohem náročnější vypořádat se s dlouhodobě nepříznivou kvalitou, například díky velké eutrofizaci a s ochranou proti znečištění. Pro jakost vody je u nádrží důležitá teplota vody a hloubka. V případě plochých nádrží s hloubkou do 10 m se vlastnosti vody příliš nemění.

Je to díky častému prolínání vrstev akumulace působením větru. U přehradních nádrží je tento efekt velice omezený díky jejich značné hloubce. Platí zde, že v závislosti na ročním období je v různé hloubce různá kvalita vody, tento jev se nazývá stratifikace. Většina odběrů ze stojatých vod je v České republice realizována v přehradních nádržích s poměrně značnou hloubkou. Jímací objekty je tedy třeba uzpůsobit možnostmi odběru z různých úrovní, pro odběr vody vhodné kvality v jakémkoliv období. Mezi sledované parametry patří teplota, zákal, CHSK a další. Nejnižší odběr bývá zpravidla 6 m nade dnem. Teplota vody v nádržích je ovlivněna nadmořskou výškou díla. Jsou tedy vhodnější nádrže v polohách nad 500 m n. m. s nižší teplotou vody, než vodní díla v nížinách. S narůstající teplotou je podporován rozvoj organismů, čímž je negativně ovlivněna její použitelnost pro pitné účely. S ohledem na biologické oživení můžeme vodu v nádrži rozlišit na tři vrstvy:

- epilimnická (povrchová) vrstva – průnik světla, nejvíce nasycená kyslíkem, v létě nejvíce organismů (hlavně fytoplankton), charakteristický organismus jsou řasy,
- metalimnická vrstva – náhlý úbytek kyslíku, úbytek fytoplanktonu, u nehlubokých nádržích sahá takřka až ke dnu,
- hypolimnická vrstva – nízký obsah kyslíku, minimální oživení, výskyt pouze anaerobních bakterií rozkládajících organické sedimenty.

Rozlišujeme jímací objekty:

- věžové,
- nade dnem,
- v tělese hráze (nelze u tížných přehrad),
- břehové,
- dnové,
- plovoucí. [3], [4]

Věžové jímací objekty

Tyto objekty lze navrhnout jako samostatné odběrné věže, propojené komunikačně s hrází či břehem, nebo jako konstrikce začleněné do tělesa hráze. Samostatné věže se využívají u sypaných zemních a kamenitých hrází, u betonových přehrad dáváme přednost hrázovým objektům. Odběrné věže jsou budovány nad maximální hladinu v nádrži a mají kruhový, popřípadě čtvercový půdorys. Jsou v nich umístěny alespoň tři odběrné otvory v různých etážích, pro jímání z hloubek s aktuálně nejlepší jakostí vody. Každý otvor musí být opatřen samostatnými uzávěry z návodní i vnitřní strany, dále je osazen česly (ideálně pohyblivá česla). Plošina na vrcholu věže slouží jako prostor pro zvedací mechanismy uzávěrů, provizorního hrazení a popřípadě česlí. Plošina může být otevřená či krytá.

Odběr vody z různých úrovní je uspořádán dvěma způsoby:

- odběry jsou napojené na jedno svislé potrubí, to prochází vodorovnou štolou uvnitř hráze,
- volný výtok z otvorů do prostoru věže, voda odtéká tlakovou štolou. [3], [4]

Jímání vody nade dnem nádrže

Tato možnost se nejčastěji využívá u jezer, ojediněle pak u přehradních nádrží. Je to z důvodu splnění podmínky na čistotu vody a žádného či jen omezeného ukládání sedimentů, tím pádem i rozkladu organických látek. I v případě splnění těchto požadavků se nátok odběru provádí alespoň 1 m nade dnem nádrže a mimo zdroje znečištění. Osazení propojovacích výpustí mezi jímacím objektem a odběrným potrubím je vhodné pro zajištění odběru při poruše jednoho zařízení jiným. Velkou nevýhodou tohoto řešení odběru vody je jeho nepřístupnost. [3], [4]

Plovoucí odběr

Díky nim jsme schopni odběru vody v jakékoliv hloubce nezávisle na kolísání hladiny v nádrži. [3], [4]

Břehové a dnové jímací objekty

Jsou obdobné jako tytéž objekty u tekoucích vod proto se jimi v této části již nebudeme zabývat. [3], [4]

4.2 MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ

U povrchových zdrojů je mechanické předčištění velice důležité, protože tyto vody obsahují mnohdy značné množství látek plovoucích, hrubě suspendovaných a sunutých u dna. Tato zařízení jsou budována pro odstranění těchto látek z důvodu ochrany následných technologických zařízení a procesů. Pokud bychom je nenavrhli, hrozilo by poškození nebo ucpání důležitých součástí celého systému úpravy vody jako jsou dopravní čerpadla nebo trubní vedení. Částice jsou z vody odstraňovány s využitím fyzikálních zákonů. Jako typ mechanického předčištění používáme česle, bubnové mikrosítové filtry a lapáky písku. [3], [4]

4.2.1 Česle

Úkolem česlí je odstranit z přitékající vody unášené částice větších rozměrů (listí, větve apod.). Objekt je tvořen svislými tyčemi (česlicemi), osazenými v rámu do betonového žlabu. Česlice navrhujeme ve vhodném sklonu od vodorovné roviny (60° až 75°) a vhodných vzdálenostech. Jako materiál pro výrobu česlic používáme ocel, nerez nebo plast. Průřez je nejčastěji kruhový nebo obdélníkový či jiný zaoblený tvar a má značný vliv na velikost tlakových ztrát, ten je vyjádřen tvarovým součinitelem β . Velikost tlakových ztrát na česlích by neměly přesahovat 0,5 m. Přesah česlic nad hladinu má být v rozmezí 0,2 – 0,3 m. Přívodní kanál musí být navržen tak, aby přítoková rychlost vody vyhovovala hodnotám 0,6 až 0,8 m/s.

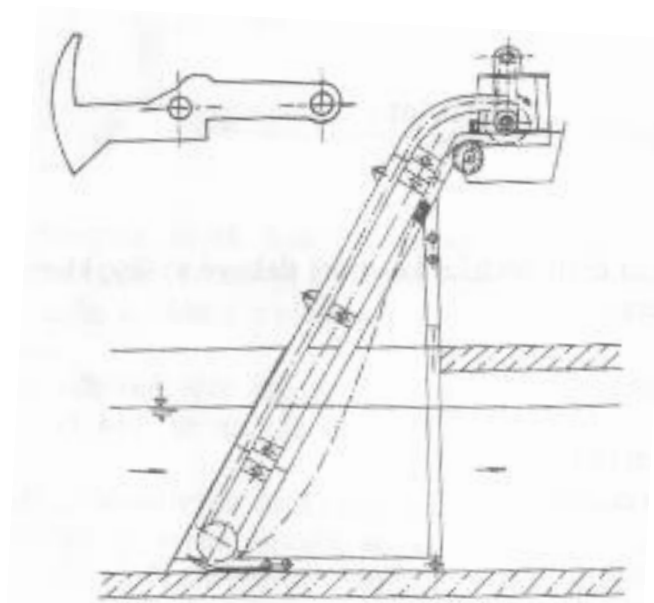
Podle velikosti průlin mezi česlicemi rozlišujeme česle:

- hrubé – 50–150 mm,
- střední – 20–50 mm,
- jemné – 1–20 mm.

Světlost se určuje dle rozměru částic, které chceme odstranit. Často využíváme kombinace jednotlivých typů česlí (u povrchových zdrojů hrubé česle bezprostředně následované jemnými).

Podle způsobu odstraňování zachycených nečistot rozeznáváme česle:

- ručně stírané – využíváme u hrubých a jsou stírané hrablemi,
- strojně stírané – střední i jemné,
- samočistící – segmenty tvořící nekonečný pás, který odvádí shrabky do odváděcího žlabu, samočistící čele včetně detailu na tvar segmentu, viz. obr. 4.1. [3], [4]



Obr. 4.1 Samočistící česle [3]

4.2.2 Bubnové mikrosítové filtry

Jsou tvořeny otáčivou konstrukcí bubnu v nádrži, přičemž plášť je kryt filtračním pletivem. Voda je přiváděna předním čelem a postupuje z vnitřní části bubnu do části s profiltrovanou vodou vně filtračního pláště. Zadní čelo je plné. Zachycené částice, které zanáší vnitřní plochu pláště, jsou sestřikovány pomocí tlakové vody z vnějšku bubnu do žlabu uvnitř válce. V prostoru s profiltrovanou vodou je udržována stálá hladina pomocí přepadu na výtok. Otvory v sítích mají velikost 10 až 50 μm a jsou vyrobené z korozivzdorného kovu, oceli nebo se využívá umělá hmota. Dle množství suspenze v surové vodě u povrchového zdroje se volí rychlost filtrace 18–72 m/hod. Rychlost otáčení bubnu se navrhuje v rozmezí 0,10 - 0,15 m/s, přičemž tlakové ztráty by neměly přesáhnout hodnotu 0,25 m, ideálně 0,10 až 0,15 m. Praní je nutné provádět kontinuálně, spotřeba vody činí 6 až 8 % vyrobené vody. Jedná se o vodu recirkulující. Bubnové mikrosítové filtry se vyrábí s délkou i průměrem do 3 metrů. [3], [4]

4.2.3 Lapáky písku

Tento objekt je spíše využíván v oblasti čistírenství než úpravárenství, ale má své opodstatnění, pokud se v surové vodě objevuje vyšší množství látek sunutých po dně, nejčastěji je to písek. Největší hrozbou jsou tyto částice pro čerpadla a následná tlaková potrubí, kvůli zvýšení namáhání a mechanického působení na povrchy potrubí i pohyblivých částí čerpadla. Je proto důležitá kontrola a včasná údržba lapáků. Usazený materiál lze odstranit nárazově, ručně vypuštěním nebo odsát pískovým čerpadlem. Nejčastějším požadavkem je zachycení částic s velikostí zrna 0,1 mm a více, z tohoto důvodu zařazujeme za hrubé česle lapáky písku:

- horizontální, ty jsou tvořeny vhodnou úpravou dna přírodního kanálu, jedná se tedy o prostý usazovací žlab, kde písek sedimentuje ve vzniklé prohlubni, jejich výhodou je snadné a levné zbudování, velkým záporem je pak malá účinnost a obtížná kontrola funkce lapáku při jeho částečném zaplnění;
- vertikální, odloučení sunutých látek probíhá ve zvláštním objektu s velkou hloubkou sedimentačního prostoru;
- odstředivé, jsou budovány konstrukčně tak, aby v nich probíhalo usazování částic působením odstředivé síly a zároveň sedimentací. [2], [3], [5]

4.3 KOAGULACE

Podstatou tohoto procesu úpravy vody je shlukování koloidních a suspendovaných částic do větších separovatelných celků. Koloidní částice mají velikost 1 nm až 1 μm . Suspendované látky dělíme na jemné suspenze s částicemi do 0,1 mm a hrubé s částicemi většími než 0,1 mm. Srážením, tedy chemickou koagulací, odstraňujeme jemné suspenze i koloidní částice. Oba druhy látek jsou hlavním původcem zákalu vody. Rozptýlené látky lze rozdělit dle podobnosti s disperzním prostředím, zde vodou, na hydrofobní a hydrofilní. Hydrofobní soli jsou tvořeny anorganickými látkami, například hydrosoly kovů. Hydrofilní soli tvoří především rozpuštěné tuhé látky organického původu, například bílkoviny, škrob nebo želatina. U povrchových vod není běžný obsah hydrofilních solí, v případě jejich výskytu se jedná hlavně o částice jílu, různé sraženiny a dispergované bakterie. Nejčastěji se v těchto vodách setkáme s koloidy molekulárními (humínové kyseliny, bílkoviny apod.) a koloidy micelárními (mýdla, barviva, tenzidy apod.).

Koloidní částice (micela) je složena z jádra a elektrické dvojvrstvy. Jádro obsahuje částici, která disociuje na dva druhy iontů (nabíjející a kompenzující) s opačnými elektrickými náboji, ty pak tvoří elektronickou dvojvrstvu. Rozdíl mezi jakýmkoliv místem přilehlé vrstvy kapalně fáze k micelě a její vrstvou nabíjejících iontů nazýváme elektrokinetickým potenciálem zeta – ξ . Ten je ukazatelem vlastností takové částice, například stability částice, rychlosti jejího pohybu v elektrickém poli apod. Běžně se hodnoty ξ pohybují v rozsahu 50 až 100 mV, v tomto stavu je suspenze stabilní a netvoří tedy větší separovatelné celky. Pro možnost koagulace je tedy nutné hodnotu elektrokinetického potenciálu snížit pod jeho kritickou hodnotu, tedy $\xi < 30$ mV.

Toho můžeme dosáhnout výraznou změnou teploty vody (její zvýšení), nadávkováním vhodného elektrolytu (koagulantu), dosažením nulového celkového náboje látky změnou pH (dosažení izoelektrického bodu, kdy nedochází k pohybu v elektrickém poli), působením UV nebo γ záření, přidáním dehydratačních činidel nebo pomocí ultrazvuku. Nejčastěji používaným prostředkem na destabilizaci koloidních látek ve vodě je přidavek činidel – koagulantů, popřípadě polymerních flokulantů. Tato srážedla umožňují shlukování nečistot do větších celků odlučitelných z vody pomocí sedimentace, flotace nebo filtrace.

Rozlišujeme dvě fáze koagulace. První fáze je **perikinetická**, jedná se o fázi intenzivního míchání pro dokonalé promísení koagulantu v celém objemu upravované kapaliny. Dochází také ke sblížování a srážkám částic, přičemž jejich pohyb není nijak uspořádán. Toto stádium má délku trvání maximálně dvě až tři minuty, od chvíle přidání koagulantu do tekutiny, běžně se však uvádí v řádech sekund. **Ortokinetická** fáze probíhá naopak za pomalého míchání usnadňujícího shlukování do větších celků, při delší době trvání (20 až 30 minut) a vzniku srážek ve stejném směru způsobených vnějším působením, například tíhovým polem Země. Často je tato část nazývána flokulací.

Koagulace může zároveň probíhat, v závislosti na úbytku primárních částic v jednotce objemu za jednotku času, různou rychlostí. Jednotlivé oblasti lze přitom opět vyjádřit pomocí hodnoty elektrokinetického potenciálu:

- pomalá koagulace – $30 \leq \xi \leq 0$ mV,
- rychlá koagulace – $\xi = 0$ mV. [2], [3], [5]

4.3.1 Koagulanty

Mezi nejběžněji využívané koagulanty patří soli hliníku a železa.

Ze solí hliníku konkrétně krystalický síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$. Při úpravě povrchových vod je dávka v rozmezí 10 a 150 g/m³. Pokud má upravovaná kapalina nízkou hodnotu $\text{KNK}_{4,5}$ (kyselinové neutralizační kapacity) je nutná kombinace s hydroxidem vápenatým $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hašeným vápnem) nebo uhličitánem sodným Na_2CO_3 (sody). Dále se využívá chlorid hlinitý AlCl_3 nebo hlinitan sodný NaAlO_2 . [3], [5]

Ze solí železa například:

- chlorid železitý $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ v dávce 5 až 150 g/m³,
- síran železitý $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ v dávce 10 až 250 g/m³,
- síran železnatý $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ v dávce 5 až 150 g/m³. [3], [7]

Opět se zde využívá kombinace s hydroxidem vápenatým, a to v případě dávkování síranu železitého nebo síranu železnatého. [5]

Pokud je nutné zintenzivnit proces vytváření a usazování vloček, můžeme kromě klasických koagulantů využít jejich kombinaci s flokulanty, kyselinami, alkalizačními prostředky nebo zatěžkávadly. Nejčastěji se v praxi využívá kombinací koagulantu se zatěžkávadly a flokulanty, ty lze popřípadě použít i samostatně.

Zatěžkávadla používáme pro urychlení sedimentace již vytvořených vloček, k tomuto účelu lze použít jíly (bentonit, kaolín), práškové aktivní uhlí, jemný křemičitý písek, diatomit. Flokulanty využíváme pro jejich schopnost vytvářet vločky bez ohledu na původ částic rozptýlených ve vodě.

Tyto přídatné látky nejčastěji dělíme dle jejich původu na:

- anorganické polymery (aktivovaná kyselina křemičitá),
- přírodní vysokomolekulární látky (škrob, dextrin, deriváty celulózy, guarové pryskyřice a další),
- syntetické organické polymery (kopolymery akrylamidu a kyseliny akrylové, polyetylenini, polyetylenoxid). [2], [5]

Optimální dávku koagulantu lze získat klasickým způsobem pomocí koagulačních sklenicových zkoušek. V praxi se však upřednostňuje doporučená hodnota pro povrchové vody, která činí stonásobek hodnoty kyselinové neutralizační kapacity ($KNK_{4,5}$) daného zdroje. Pravdou zůstává fakt, že na většině úpraven se stanovením optimální dávky koagulantu zabývá technolog, který nemá zpravidla čas ani prostředky na laboratorní testy. Většinou se tedy dávkuje množství vycházející z kvalifikovaného odhadu. Ať už se jedná o doporučenou dávku, nebo množství stanovené laboratorně, nemusí tato hodnota odpovídat reálné potřebě úpravny vody. Pokud bychom chtěli docílit ideálního dávkování, z hlediska kvality upravené vody i ekonomiky provozu, bylo by nutné stanovit koagulačním pokusem dávku pro konkrétní úpravnu, kterou bychom následně ověřili v praxi a případně upravili. Reálně se však veškeré procesy úpravy vody řídí kombinací provozních řádů, které nejsou vždy úplně dokonalé, provozních zkušeností a kvalifikovaného odhadu. Výsledná pitná voda je však podrobována velmi přesnému zkoumání a hodnocení v laboratorních podmínkách, za pomoci drahých analytických přístrojů. Tímto nepoměrem vynakládaného úsilí je dáno často neefektivní provozování současných úpraven vody. [3], [9]

4.3.2 Homogenizační zařízení

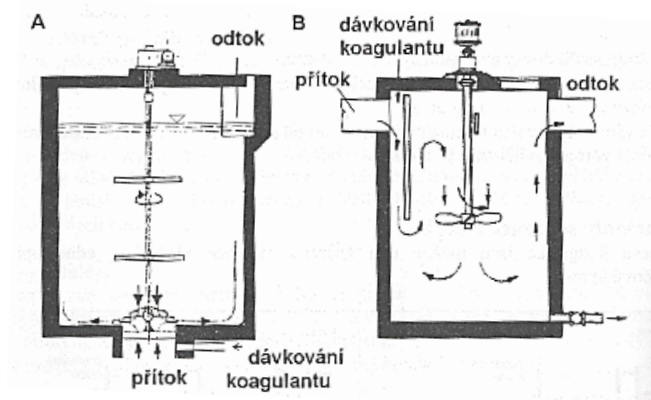
Tato zařízení slouží pro správnou funkci koagulace. Rozdělujeme je podle působení v jednotlivých částech koagulačního procesu na:

- rychlomísiče,
- vločkovací nádrže s pomalým mícháním.

Rychlomísiče

Jejich účelem je rychlé míchání koagulantu s protékající vodou, pro jejich dokonalé promísení v celém objemu. Vzniklé chemické reakce probíhají díky turbulencím, popřípadě zvýšením teploty vody, téměř okamžitě a vznikají při nich mikrovločky. Tato zařízení pracují v perikinetické fázi koagulace, proto je v nich doba zdržení vody velice krátká, 1 až 3 minuty (pokud se jedná o úpravny s velkými kapacitami, pak může doba zdržení dosáhnout 5 minut). Rychlomísiče můžeme rozdělit na mechanické, mechanicko-pneumatické nebo hydraulické. [2], [3]

Mechanické mísiče jsou obvykle tvořeny otevřenými nádržemi, kruhového či čtvercového tvaru o průměru 1 až 5 metrů, osazené ponornými vrtulemi, vysokorychlostními lopatkami, popřípadě turbínou. Nejpoužívanější typy mechanických mísičů můžeme vidět na obr. 4.2. Často zde dochází k vysokým hodnotám rychlostního gradientu, což má za následek někdy až extrémně malou dobu zdržení. Proto je nutné vhodné nastavení otáček mísidel a dávkování chemikálie do míst, kde se rychle a spolehlivě promísí s přitékající vodou, ideálně přímo pod míchadlo. [2], [8]



Obr. 4.2 Mechanické mísiče [2]

Nejpoužívanější mechanické mísiče: A – lopatkový, B – vrtulový.

Mechanicko-pneumatické mísiče fungují na principu vhánění tlakového vzduchu do dopravované tekutiny, stejně jako mamutová čerpadla. Pro větší výkon se často osazuje do mísiče hned několik mísících mamutek. [2]

Hydraulické mísiče jsou umístěné v otevřených korytech či nádržích nebo v uzavřeném potrubí. V otevřených korytech využívají k promísení látek vodního skoku, svislé mezistěny, horizontální štěrbiny, výtok dvou paprsků proti sobě nebo nárazu vytékající vody do pevné překážky. U trubního vedení se využívá osazení clony, zde se využívá náhlého zúžení průřezu. Dále se využívají satorové mísiče, kde dochází k průtoku proudu vody přes šikmé lopatky „čepele“ zabudované ve stěnách, příklad satorového mísiče je na obr. 4.3. Vodu lze v tlakových trubních vedeních promíchat i pouhým zúžením a rozšířením potrubí, touto metodou se vyznačují horizontální mísiče. [2], [3], [8]



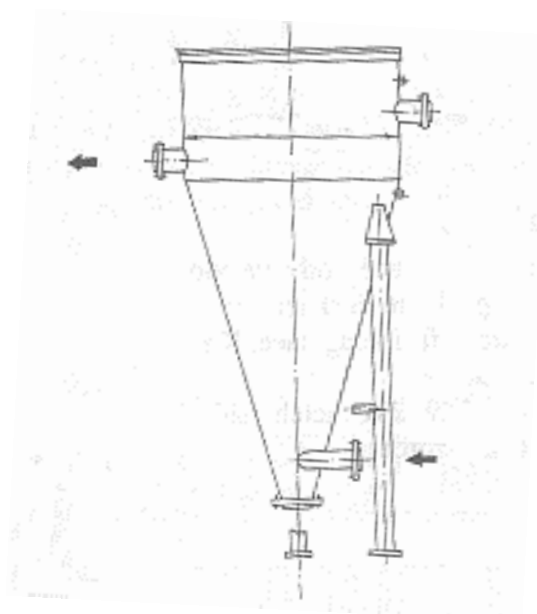
Obr. 4.3 Satorový mísič [8]

Vločkovací nádrže

Tyto nádrže zařazujeme za rychlomísíče, jelikož zde za pomalého míchání probíhá ortokinetická fáze koagulace. K pohybu tekutin se využívá hydraulického nebo mechanického míchání. Doba zdržení je značně delší, než u předchozích typů zařízení a to kolem 15 až 30 minut. Zde tedy dochází k tvorbě větších vloček nečistot a jejich slučování do větších agregátů, které jsme v následném kroku úpravy schopni odseparovat od vody.

Vločkovací nádrže s hydraulickým mícháním vody:

- žlabové vločkovací nádrže – systém svislých či vodorovných štěrbin či přepážek u nádrží, nebo zvlněné kanály, jsou náročné na zastavěnou plochu, a proto se dnes již nenavrhují,
- vertikální (kuželové) mísiče – fungují na principu vířivého proudění vody způsobeném tangenciálním přívodem vody, do dna nádrže, odběr směsi vody a vloček je umístěn v horní části nádrže a je zde i bezpečnostní přepad pro případ poruchy na odtoku, viz obr. 4.4. Rozměry mísičů jsou vyráběny přímo na určité průtoky. [2], [3]

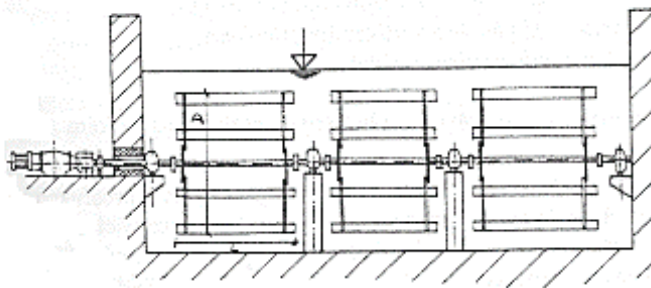


Obr. 4.4 Vertikální vločkovací nádrž s vyznačením nátoky a odtoku upravované vody [3]

Vločkovací nádrže s mechanickým mícháním vody:

- pádlová míchadla vertikální – mají vertikální osu míchání s průtokem horizontálně či vertikálně, průměr míchadla 1 až 1,6 m jako čtyřramenná a 1,6 až 3 m jako osmiramenná, na jednu hřídel můžeme osadit dvě mísidla, což má však za následek velkou hloubku jímky, tudíž se s tímto tipem v praxi tak často nesetkáme,

- pádlová míchadla horizontální – mají horizontální osu míchání i směr průtoku, průtok však může být veden ve směru osy míchání (podélná) nebo kolmo na osu míchání (příčná), průměr míchadel je odstupňován po 200 mm od 1 do 3 m, délka pádel je 1 až 3,6 m po 200 mm, často se můžeme u tohoto typu míchadla setkat s označením PMH – 1, PMH – 2 nebo PMH – 3, kde číslice označuje počet mísících bubnů na jedné pohonné ose, pro představu můžeme na obr. 4.5 vidět rozložení PMH – 3. [2], [3]



Obr. 4.5 Vločková nádrž se třemi horizontálními pádlovými míchadly na jedné ose [3]

4.4 PRVNÍ SEPARAČNÍ STUPEŇ

U dvoustupňové úpravy povrchové vody se jako první separační stupeň používá technologie sedimentace, čiření nebo flotace.

4.4.1 Usazovací nádrže

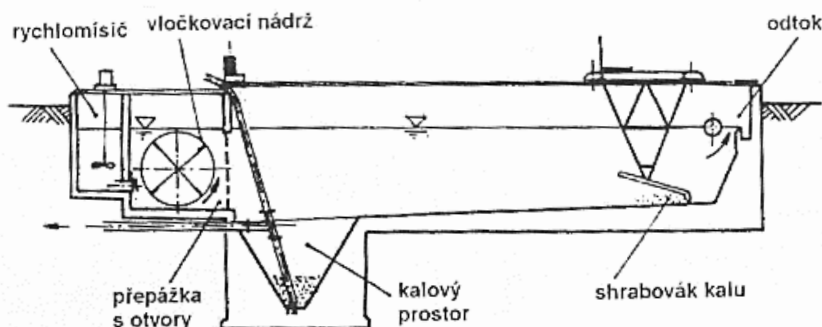
Využití gravitace za účelem úpravy vody je nejstarší a zároveň nejpoužívanější druh procesu. Je to dáno vysokou účinností sedimentace, kdy při dodržení optimální doby zdržení 1,5 až 2 hodiny můžeme dosáhnout zachycení až 90 % suspendovaných látek. Tím je myšleno zachycení vloček kalu vzniklých v předchozím procesu koagulace a flokulace. Na částice v těchto nádržích působí tři síly – vztlak, tíha a odpor prostředí. Hodnoty tíhy a vztlaku jsou neměnné, ale odpor prostředí závisí na mnoha faktorech, jako jsou hustota kapaliny, viskozita kapaliny, tíhové zrychlení, rozměr a tvar vloček a jeho hodnoty se zvyšují s rychlostí pádu. V praxi je nejdůležitějším ukazatelem povrchové zatížení nádrže.

Sedimentační nádrže může dle použité konstrukce i provozního hlediska rozdělit na:

- obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem,
- patrové a lamelové usazovací nádrže. [3], [7], [10]

Obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem

Jedná se o nejstarší, jednoduchý a nepoužívanější typ sedimentačních nádrží. Jejich velkou výhodou je možnost propojení do jednoho stavebního objektu s vložkovacími nádržemi, viz obr. 4.6.



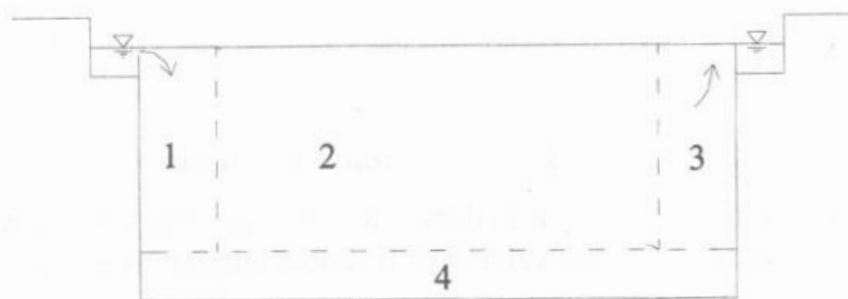
Obr. 4.6 Spojení vločkovací nádrže s obdélníkovou usazovací nádrží [2]

Z hlediska dělení vlastní usazovací nádrže rozlišujeme prostor: vtokový, usazovací, výtokový a prostor usazeného kalu, viz obr. 4.7. **Nátok vody** z vločkovacích nádrží se nejčastěji řeší přes svislé stěny s otvory pod úrovní hladiny, minimální počet otvorů je jeden na 3 m šířky usazovací nádrže. Důvodem tohoto řešení je snaha o rovnoměrné zatížení příčného profilu pro co nejrychlejší docílení laminárního proudění, využíváme přitom faktu nezávislosti rychlosti proudění vody na hloubce otvoru pod hladinou.

Tyto děrované stěny se zároveň využívají jako prevence vzniku mrtvých koutů, osazením několika za sebou jdoucích stěn v rámci celého průřezu nádrže. Vločky kalu se však s rostoucí velikostí stávají náchylnější k tříštění. Není proto žádoucí, aby z procesu koagulace vytékala voda s maximální velikostí vloček kalu ve vznosu. Je vhodné nechat částicím možnost zvětšování při klesání v prostoru sedimentační nádrže přirozenou cestou srážením, nebo dodatečným přidáním koagulantu. Tomuto požadavku se také přizpůsobuje rozměr průtočných otvorů, ty nesmí zvyšovat riziko tříštění částic, a proto by se v rozdělovacích zařízeních měla rychlost pohybovat okolo hodnoty 0,3 m/s. Další možností řešení přítoku z vločkovacích nádrží je žlab s otvory, česle (sahající až ke dnu usazovací nádrže) a svodidla ve dně. Ukazatelem, zda nátok funguje správně, je hodnota ztrátové výšky, která by se měla pohybovat v rozsahu 3 až 5 cm. Vzhledem k zásadnímu vlivu těchto objektů na celkovou úspěšnost sedimentace je jim nutné věnovat značnou pozornost při návrhu i výstavbě a je vhodné u nich využít modelového zkoušení. **Usazovací prostor** umožňuje samotný proces sedimentace vloček kalu, jeho velikost se určuje dle množství kalu, usazovací době částic a kvalitě odsazené vody. Velikost **prostoru sedimentace kalu** je dána látkami ve vznosu upravované vody, konkrétně jejich množstvím, vlastnostmi, povahou a časem hromadění. Například při výskytu rychle zahrňavajících látek hrozí riziko vzniku anaerobních procesů. Tento rozklad má za následek vznik plynů, které mohou nadnášet kalové vločky a tím velmi negativně ovlivnit celkovou účinnost sedimentace. V provozech s takovýmto typem látek, nebo s velkým objemem kalu je často prostor sedimentace kalu menších rozměrů, ale je neustále vyprazdňován.

Kal se z tohoto prostoru odstraňuje různými způsoby a zařízeními: ručně, mechanicky stírači, vodním tlakem, odsátím čerpadly apod.

Odtok se nachází v zadní části nádrže, je obvykle tvořen žlabem napříč nádrží, popřípadě je propojen s dalšími žlaby podél nádrže. Přelivná hrana je řešena buď vodorovná nebo zazubená výřezy ve tvaru V (výška výřezu okolo 3 cm). Tyto hrany musí pracovat jako dokonalé přelivy, hlavně při současném provozu více nádrží, pro možnost odhalení nerovnoměrného zatížení nádrží. Před odtok se budují norné stěny pro zabránění průniku plovoucích nečistot. Zatížení přelivu je definováno jako množství vody přepadlé za časovou jednotku přes jeden metr přelivné hrany. Ideálně by se tento ukazatel měl pohybovat v rozmezí 3 až 10 m³/h, pokud je větší, je nutné zařadit další přelivné hrany a pokud je menší, je vhodné provést úpravu hrany výřezy. Odtoková část je opět velice důležitá pro účinný provoz, jelikož nesmí vlivem odtékání upravené vody docházet k víření usazeného kalu a tím k jejímu opětovnému znečištění.



Obr. 4.7 prostory obdélníkové usazovací nádrže [3]

1 – vtokový prostor, 2 – usazovací prostor, 3 – výtokový prostor, 4 – prostor usazeného kalu

Usazovací nádrže se provozují v počtu dvou a více na jednu úpravnu vody. Doba zdržení se pohybuje v rozmezí 1,5 až 2 hodin, při usazovací rychlosti 0,2 až 0,6 mm/s. Tato rychlost se stanovuje pomocí empirických hodnot, usazovacích zkoušek nebo provozních výsledků. Teoretické výpočty jsou však pouze přibližné, protože vločky nemají pravidelný tvar, mění svou velikost i povrch a odlišná je také koncentrace během narůstání i tzv. stárnutí vloček. Pro vločkový kal je vhodné počítat s výškou hladiny nade dnem v rozmezí 2 - 4 m, u zrnitého kalu pak postačí výška 2 m. Šířka se obvykle navrhuje do 6 m, pokud je nutná větší, prostor se rozděluje podélnými stěnami pro zachování laminárního proudění. Optimální poměr rozměrů nádrže se u délky k šířce bere 6 : 1 až 8 : 1, u šířky k hloubce 3 : 1 až 6 : 1 a u délky k hloubce 15 : 1. Dno obdélníkové usazovací nádrže se buduje v podélném sklonu 1 až 2 %, pokud není vybavena mechanickým stíráním kalu, přidává se příčný sklon 1 až 4 % směrem k podélné ose nádrže. Kalové jímky jsou obvykle řešeny jako čtyřboký jehlan se sklonem stěn 1,7 : 1, na jejich dně se pak nachází odkalovací potrubí. [3], [7], [10]

Kruhové usazovací nádrže s horizontálním průtokem

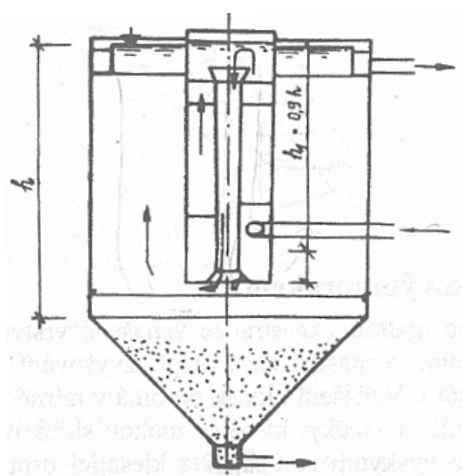
Stejně jako u nádrží obdélníkových, tak i u kruhových rozdělujeme celý objem nádrže na čtyři prostory: vtokový, usazovací, výtokový a kalový. Vtok je ve většině případů umístěn v ose válce a odtok je realizován po jeho obvodu. Tímto rozložením je způsoben pohyb sedimentujících částic ve tvaru křivky, probíhá snižování radiální rychlosti od vtoku do výtoku.

Opačné rozložení, kde je nátok tangenciálně od obvodu směrem do odběru v ose nádrže, není vhodné pro usazovací proces. Je to z důvodu vzniku turbulentního proudění v prostoru výtoku, což má za následek víření doposud usazeného materiálu.

Kruhové usazovací nádrže s horizontálním průtokem jsou nejčastěji jako monolitické železobetonové konstrukce s tloušťkou stěn 20 až 30 cm. Voda je přiváděna do středového válce pomocí ocelového potrubí pod úroveň dna nádrže. Zakončení je tvořeno buď přelivným kalichem těsně pod hladinou (v hloubce odpovídající 1/5 výšky středového válce), nebo u dna středního válce. Přenos vody mezi středovým válcem a usazovacím prostorem je v prvním případě řešen průtokem vody celou plochou mezikruží bezedného středového válce, mezi jeho stěnou a přívodním potrubím. U druhého případu se přenos vody řeší děrováním většiny obvodu pláště středového válce do poloviny hloubky nádrže. Také se v tomto prostoru osadí svislé česle z plochého železa s mezerami 2 až 3 cm, přičemž tyto nesmí zmenšit průtočnou plochu otvoru o více než 50 %. Jejich úkolem je lepší usměrnění proudu vody. Odběr je prováděn po celém obvodu a je tvořen žlabem s přelivnou hranou. I zde se před samotný odběrný žlab předsazuje normá stěna. Kalový prostor se nachází na dně nádrže, odsud se usazené vločky stahují shrabovacím zařízením do střední kalové jámky a následně jsou dopravovány kalovým potrubím k dalšímu zpracování. Tento proces likvidace kalu probíhá ve většině případů nepřetržitě, lze ho však provozovat i přerušovaně. [3]

Kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem

Výhodou u tohoto typu je malá plošná náročnost, jejich nevýhodou je naopak velká stavební výška. Mají tvar válce, který je zakončen kalovým prostorem ve tvaru jehlanu, se sklony stěn 50° až 60° . Tyto nádrže se při větších rozměrech zhotovují z železobetonu, popřípadě kombinací s ocelovými částmi vystrojení nádrže. Ty umožňují snadnou adaptaci na změnu postupů v technologii úpravy vody. Od předchozích dvou druhů se liší směrem a průběhem proudu vody skrz nádrž. Přívodním potrubím voda natéká do středu nádrže, odkud klesá do usazovacího prostoru skrz střední usměrňovací válec viz obr. 4.8, průtočná rychlost se pohybuje od 20 do 25 mm/s.



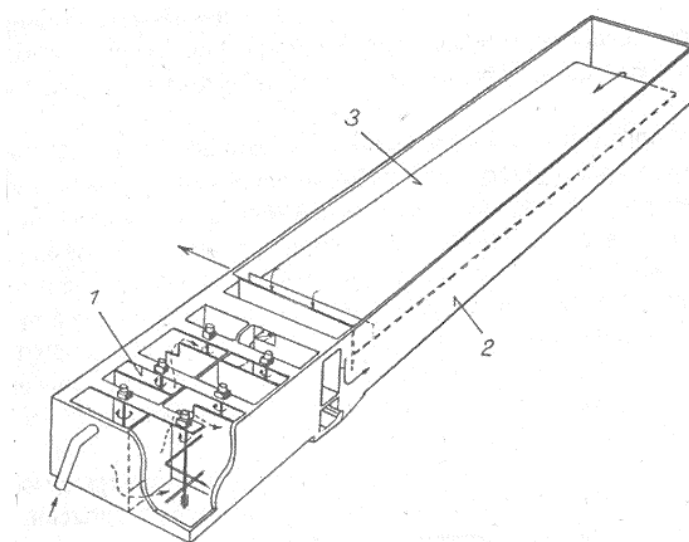
h – výška usazovacího prostoru nádrže

Obr. 4.8 Kruhová usazovací nádrž s vertikálním průtokem [3]

Hloubka usazovacího válce odpovídá 80 až 90 % hloubky usazovacího prostoru nádrže. Usazený kal se vypouští z vrcholu kužele, pokud dosáhne úrovně válcové části nádrže. Není zde zapotřebí žádného stíracího zařízení, což je po stránce finanční i provozní velké plus. Odběr upravené vody se opět řeší žlabem po obvodu usazovacího prostoru. [3]

Patrové a lamelové usazovací nádrže

Dle zákona povrchového zatížení výkon, respektive účinnost usazovací nádrže nezávisí na její hloubce. Z toho vyplývá možnost výstavby mělkých nádrží umístěných nad sebe. Výhodou tohoto řešení je při zachování stejného objemu nádrže dvojnásobné plochy pro usazování. V praxi je však obtížné u tohoto systému spolehlivě vyřešit odstraňování usazeného kalu. Schéma dvoupatrové usazovací nádrže je na obr. 4.9. Na základě těchto poznatků byl vyvinut zintenzivněný proces sedimentace pomocí vestavby lamel tvaru desek nebo trubek o průměru do 10 cm s délkou do 2,5 m. Odtud pochází název lamelové usazovací nádrže.



1 – vločkovací nádrž, 2 – spodní patro, 3 – horní patro

Obr. 4.9 Dvoupatrová usazovací nádrž [10]

Často tento proces nazýváme rychlou filtrací, a sice z důvodu snížení doby zdržení na cca 15 minut, při účinnosti odstranění suspendovaných látek až 96 %. Účinnost je prokazatelně ovlivněna délkou lamel (minimálně 1 m) a jejich sklonem (nemá být větší než 40°).

Šikmá poloha usazovacích prvků napomáhá maximálnímu prostorovému využití a zároveň tvoří samostatné usazovací prostory, které vlivem sklonu gravitačně odvádí sedimentovaný kal z usazovacího prostoru do kalového. V průběhu vývoje vznikly z původních rovných, šikmo uložených přepážek tři základní typy lamelových usazováků: souprroudový, protiproudový a s křížovým tokem. I u nich však už dochází k dalším modifikacím.

Protiproudé uspořádání je i přes složitost hydraulických poměrů v dnešní době nejrozšířenějším typem.

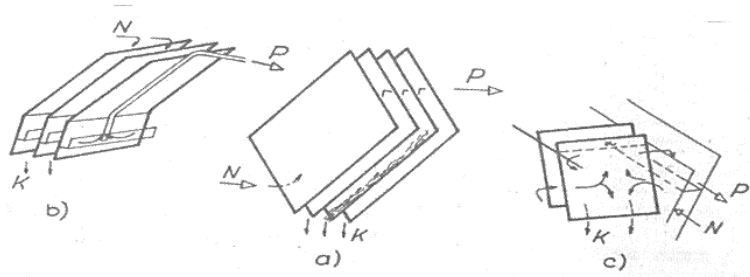
Nevýhodou tohoto řešení je míchání odsazeného kalu se vzestupným proudem upravené vody. Navíc se u některých provozů vypožadoval vznik vločkového mraku v oblasti nátok, což má pozitivní efekt na separační účinnost, ale negativně ovlivňuje citlivost na zvyšování průtočné rychlosti celého systému. Důvodem jeho oblíbenosti je nižší zatížení oproti oběma zbývajícím druhům lamelových usazováků a pro jeho konstrukční jednoduchost.

Souproudé uspořádání je konstrukčně velmi náročné, vyžaduje totiž oddělené odvádění upravené vody z jednotlivých částí lamel do jednoho sběrného žlabu. Ten lze řešit jako trubku umístěnou ve spodní části nádrže, ale v průběhu provozu dochází k vytváření nánosů na jejím povrchu a může tedy dojít k opětovnému znečištění již upravené vody.

Takto sestrojené systémy mají větší výkon než protiproudové, ale zároveň jsou velmi náchylné na zvýšení průtočné rychlosti i zvýšení koncentrace vloček ve vznosu.

Lamelové usazovákы s **křížovým uspořádáním** jsou jakýmsi kompromisním řešením obou předchozích typů, jak po stránce konstrukční, tak i hydraulické. Nedochází zde ke střetu usazeného kalu s natékající suspenzí a jsou schopny snést vyšší zatížení usazovací nádrže než v případě protiproudého uspořádání.

Ukázka jednotlivých typů lamelových usazováků včetně naznačení průtoku upravované vody a směru pohybu odsazeného kalu je na obr. 4.10. [10]



a) – protiproudový průtok nosné kapaliny a odsazeného kalu, b) – souproudé uspořádání s odvodem upravené vody do horního sběrného žlabu, c) – křížový průtok deskovým usazovákem – vstup suspenze z boku pod normou stěnou středového nátokového a sběrného kanálu, N – natékající suspenze, K – odtah zahuštěného kalu, P – přepad upravené vody

Obr. 4.10 Základní typy lamelových usazováků [10]

4.4.2 Čiřiče

Nejedná se o technologii poslední doby, jelikož již v roce 1880 se podobného principu úpravy vody využilo ve větším měřítku v dortmundských nádržích.

Tato zařízení pracují pouze za stoupajícího vertikálního průtoku média a k separaci vloček z upravované vody využívají efektu vločkového mraku. Po hydraulické stránce se jedná o vznášenou vrstvu vločkovitých částic různých velikostí, přičemž v průběhu procesu vznášení dochází k rozvrstvení vločkovité suspenze. Dochází zde ke vzniku tlakových ztrát, ty jsou však malé a pohybují se v řádech mm vodního sloupce. Pro vznik efektu vznášení je nutné zvýšení rychlosti proudění kapaliny směrem vzhůru skrz vrstvu částic, jev tedy probíhá v mírně turbulentním režimu proudění.

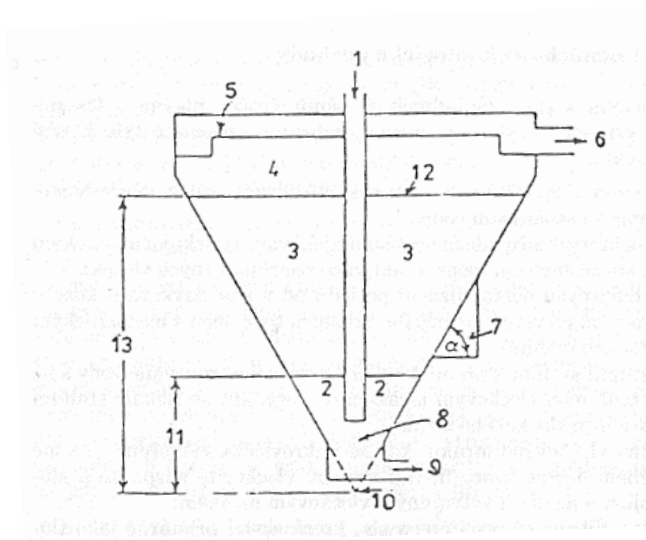
Díky turbulencím dochází k přibližování a srážení menších vloček, které pak tvoří větší celky. V těchto objektech se díky přítomnosti stoupajících a klesajících proudů vloček ve vrstvě vzhledu setkáváme s pomalým mícháním, tedy ortokinetickou částí koagulace.

Vznášená vrstva dosahuje mocnosti 1,5 až 4 m, ale obvyklá je výška 2 m. Hladina vločkového mraku je udržována v konstantní úrovni díky přelivné hraně. Vytváří tak rovinu i přesto, že vznášená vrstva narůstá vlivem přítoku čerstvých vloček. Přepadlý kal je zachytáván v zahušťovacím prostoru čířiče. V závislosti na kvalitě vody a použitém srážedlu se měrná hmotnost pohybuje od 1,001 do 1,010 kg/m³. Čířiče jsou oproti usazovacím nádržím méně plošně i prostorově náročné a v dnešní době se vyskytují ve stovkách typů a různých konstrukčních uspořádáních. Vykazují značnou citlivost na větší odchylky od navržených průtoků a možnost přerušovaného provozu je složitá. [6], [10]

Principiální rysy základních systémů čířičů, hlavně s dokonalým vzhledem vločkového mraku, zahrnují v podstatě tyto hlavní elementy:

- systém rozpouštění organických koagulantů a jejich homogenizace se surovou vodou,
- v některých případech systém smíchání recirkulovaného kalu se surovou vodou (popřípadě reaktivaci recirkulovaných vloček),
- prodlevu destabilizační periody od místa dávkování koagulantu až po vstup do čířicího prostoru (bez nebo s mechanickým promícháním),
- vstupní systém k promíchávání vcházející upravované vody s již vytvořeným vločkovým mrakem (takový, aby se získala stabilní suspenze vločkového mraku),
- zónu vločkového mraku, kde se mikrovločky vytvořené ve vodě během destabilizace filtrují vrstvou vločkové suspenze a slučují se s již dříve vytvořeným vločkovým mrakem,
- zónu filtrované, vyčiřené vody, která slouží primárně jako tlumič rázové vlny, popř. vzdouvání vločkového mraku, může současně vytvářet další etapu úpravy vody,
- systém kontroly hladiny vločkového mraku,
- zahušťovač mraku, který může též sloužit jako kontrola hladiny vločkového mraku,
- kontrolu odkalování čířiče a její automatizace. [6]

Obr. 4.11 ukazuje vertikální sekce úpravy vody u pyramidálního čířiče s vločkovým mrakem.



1 – přítok surové vody, 2 – vstupní zóna, 3 – oblast flokulace a čiření, 4 – zóna vyčiřené vody, 5 – přepad upravené vody, 6 – odtok upravené vody, 7 - sklon stěny čířiče, 8 – zóna kalu, 9 – odkalování, 10 – vrchol čířiče, 11 – výška kalu, 12 – hladina vločkového mraku, 13 – výška flokulační a čiřící zóny

Obr. 4.11 Vertikální sekce úpravy vody u pyramidálního čířiče [6]

Čířiče rozdělujeme na **průchodné, modifikované a s kontaktní hmotou** (nejvíce používané).

Reaktory s kontaktní hmotou můžeme dle základních fyzikálně chemických vlastností vločkového mraku dále dělit na čířiče s fluidním vločkovým kontaktním médiem a čířiče s fluidním granulovaným kontaktním médiem.

Čířiče s fluidním vločkovým kontaktním médiem:

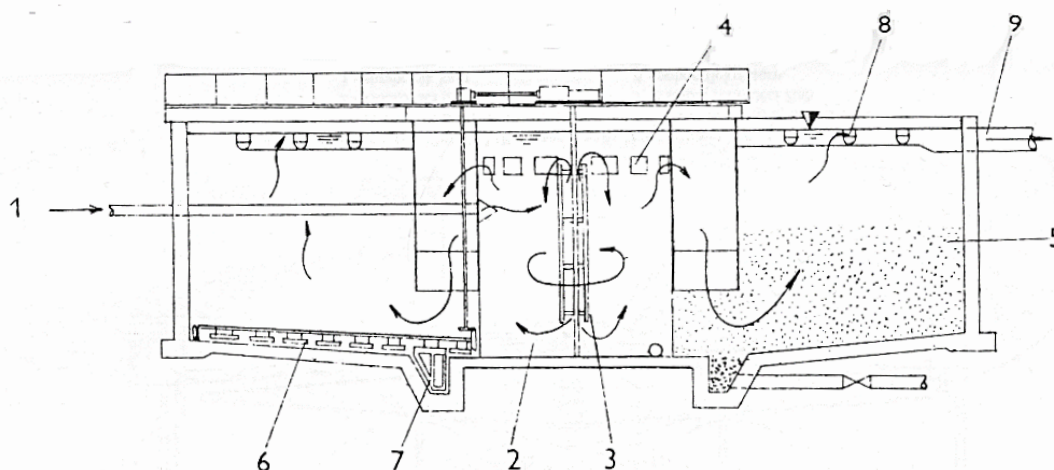
- čířiče s dokonalým vznášením (se vznášeným vtékajícím paprskem vody),
- čířiče s nedokonalým vznášením (se vznášeným vírem za pádlem),
- čířiče s recirkulací kalu,
- čířiče s měnícím se průtokem.

Čířiče s fluidním granulovaným kontaktním médiem:

- dekarbonizační jednotky,
- čířiče se zatěžovanou flokulací,
- čířiče s peletizací vločkového mraku. [6]

Průchodné čířiče

Jedná se o nejprimitivnější zařízení, kde nedochází k recirkulaci ani významné změně koncentrace vody a tuhé fáze. Obsah vloček ve vzhledu upravované vody se během procesu čiření nezmění oproti poměru vystupujícího z koagulační fáze. K jejich shlukování dochází pomocí deskovitých pádel pomalu rotujících na horizontální nebo vertikální ose. V rámci provozu je nutné docílit dostatečné doby zdržení, zároveň se však musí vzít v úvahu rostoucí riziko roztříštění vzniklých vloček. Nejčastěji se tyto čířicí nádrže budují kruhového půdorysu s oddělenou flokulační zónou. Vzniklé mezikruží tvoří usazovací prostor, který je vybaven shrabovákem. Směr pohybu vody po nádrži je radiální a z části vertikální. Jejich výhodou je využití u přerušovaných provozů, ale pouze v případě konstantního množství suspendovaných látek v upravované vodě v rozsahu 100 až 20 000 mg/l. Oproti ostatním typům čířičů dosahují menšího povrchového zatížení a vykazují horší výstupní kvalitu odseparované vody. Mezi zástupce tohoto druhu patří např. Clariflocculator (obr. 4.12) a Centrifloc. [6]



1 – přítok surové vody, 2 – vločkovací prostor, 3 – míchadlo, 4 – přelivná okna, 5- čířicí prostor,
6 – shrabovák kalu, 7 – kalová jímka, 8 – sběrný žlab, 9 – odtok upravené vody

Obr. 4.12 Clariflocculator [6]

Čířiče s kontaktní hmotou

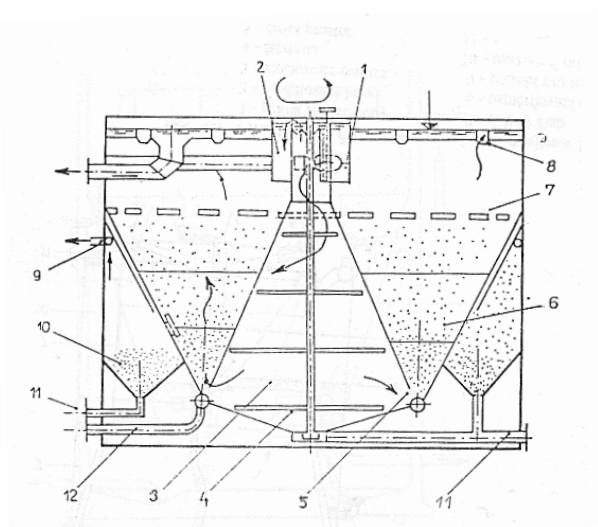
Jedná se o dokonalejší a v současné době nejrozšířenější zástupce čířičů. Jejich oblíbenost spočívá v intenzifikaci procesu koagulace nebo změkčovací reakce díky kontaktu chemicky upravené vody se značnou plochou kalu, čiření probíhá vzestupným průchodem koagulované vody skrz vločkový mrak. Toto zefektivnění má za následek snížení povrchové plochy nádrže, rychlost se pohybuje v rozsahu 0,68 až 1,4 mm/s při koagulaci – flokulaci trvající 15-30 min. Charakteristickým znakem těchto jednotek je propojení míchání, flokulační a sedimentační etapy a jejich mírné oddělení uvnitř jedné nádrže. Citlivost těchto systémů na rychlé změny teploty vody a zvýšení průtoku se projevuje zvýšením koncentrace suspendovaných látek v upravené vodě na odtoku. [6]

Čiřiče s fluidní vločkovitou kontaktní hmotou

U těchto čiřičů je charakteristickým znakem vertikální pohyb vody skrz nehybnou a nerekulující kapalnou vrstvu vloček. Suspendované látky zůstávají v této zóně a jednotlivé částice se v ní mohou volně pohybovat.

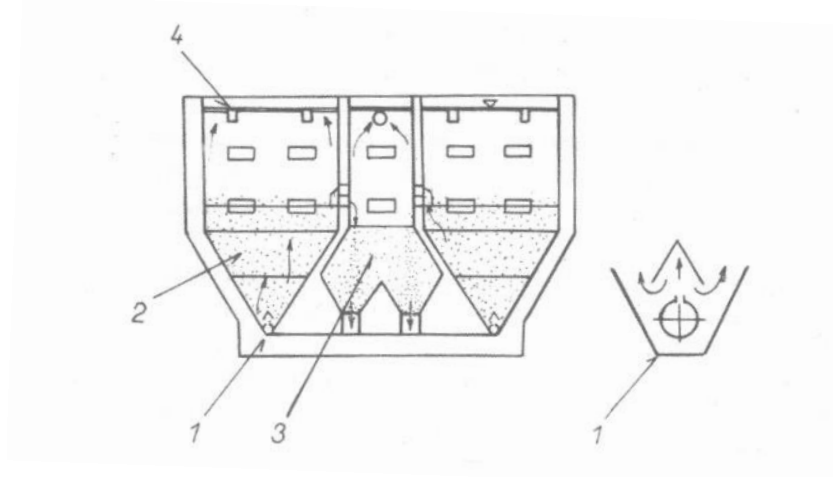
Čiřiče s dokonalým vnosem udržují kapalnou lože vloček svislým vtokem paprsku vody do čiřicího prostoru pomocí štěrbin, trysek nebo perforovaného potrubí. Předchozí proces flokulace je nutný pouze k vytvoření mikrovloček, popřípadě postačí vznik tvorby destabilizovaných koloidů zachycujících se na již obsazených částech kalu.

Flokulátorem v takovém případě může být nádrž, vstupní žlab nebo potrubí s dobrou zdržením odpovídající tvorbě uvedených částic. Pro prevenci usazování kalu na povrchu reaktoru, jsou jeho stěny ve sklonu 60° od vodorovné základny. Rychlost nad hladinou vločkového mraku musí dosahovat minimální hodnoty $0,6 \text{ mm/s}$, v opačném případě dojde k jeho sedimentaci, což vede k jeho nerovnoměrné koncentraci a zákalu. Zvětšení velikosti průměru čiřiče sebou nese úměrné zvětšení jeho výšky, přičemž maximální používaný průměr činí 10 m. Mezi typické a hojně rozšířené zástupce v ČR patří čiřič ČSAV (vyvinut již v šedesátých letech minulého století) - obr. 4.13 a galeriový čiřič (pravoúhlý půdorys, jednoduchá konstrukce a absence vločkovacího prostoru - obr. 4.14). V menší četnosti se na našem území provozují čiřiče typu Candy (bez vločkovacího i kalového prostoru), typ Tulis – Novák či typ Sigma – VUT. [6], [10]



- 1 – vtok, 2 – rozváděcí žlab, 3 – vločkovací prostor, 4 – pádlo, 5 – štěrbina, 6 – čiřicí prostor, 7 – přeliv kalu,
8 – sběrný žlab upravené vody, 9 – nucený odtah, 10 – zahušťovací prostor, 11 – odkalování,
12 – proplachování štěrbin

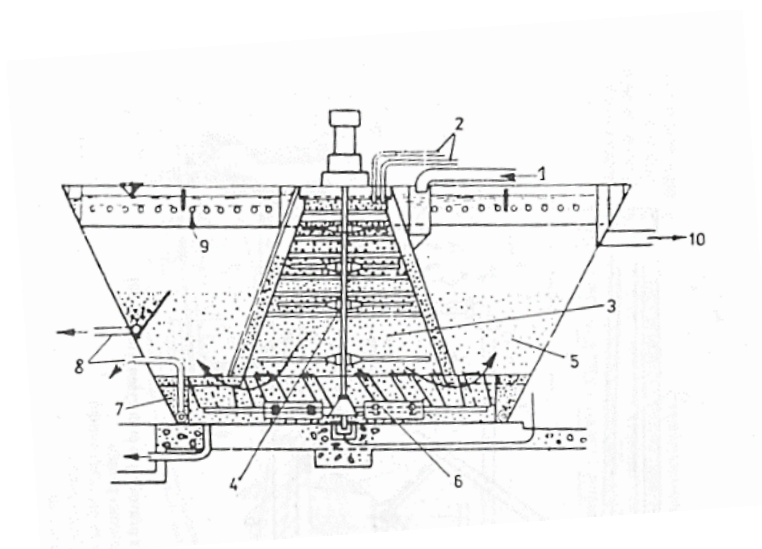
Obr. 4.13 Čiřič ČSAV [6]



1 – vtok, 2 – čířicí prostor, 3 – zahušťovací prostor, 4 – sběrný žlab na upravenou vodu

Obr. 4.14 Galeriový čířič [2]

Čířiče s nedokonalým vlnosem vznášejí vrstvu vloček díky víru tvořícího se za pomalu pohybujícím se deskovým nebo kyvným pádlem. Přitékající suspenze je tímto vírem, který se postupně vlivem viskozity rozptýlí, udržena po určitou dobu. Může zde docházet ke snížení povrchového zatížení pod úroveň rychlosti sedimentace vrstvy, tedy pod 0,6 mm/s. Tento systém vykazuje větší koncentrace suspenze i čířicího účinku oproti čířičům se vznášeným proudem vody, ale nedosahuje takových průtoků. Tyto nádrže se běžně navrhují do průměru 40 m. Deskové pádlo se využívá u dříve velmi oblíbeného čířiče typu Precipitátor - obr. 4.15 (obvodová rychlost pádla cca 2 cm/s), naopak kyvná pádla využívají objekty pravoúhlého půdorysu (použití u malých kontejnerových či balených úpravě vody). [6], [10]



1 – přítok surové vody, 2 – přívod chemikálií, 3 – vločkovací prostor, 4 – míchadlo, 5 – čířicí prostor, 6 – shrabovák kalu, 7 – usazovací prostor, 8 – odkalovací potrubí, 9 – sběrný žlab, 10 – odtok upravené vody

Obr. 4.15 Precipitátor s přelivnou hranou vločkového mraku [6]

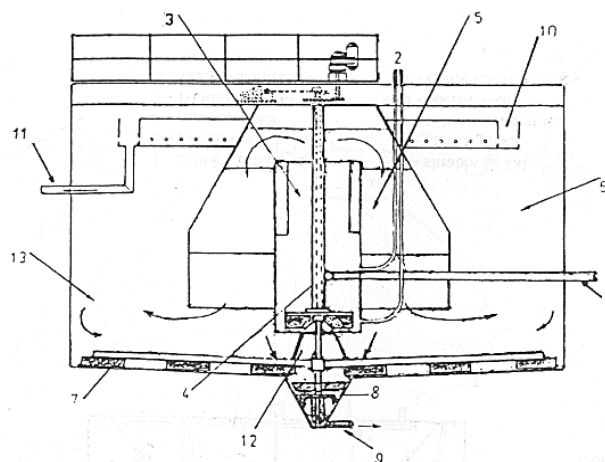
Čiřiče s recirkulací kalu se začaly vyžívat díky poznatku, že přidáváním části usazeného kalu zpět do procesu čiření dosáhneme lepších výsledků změkčování vody i odstranění kalu (zde není rozdíl tak markantní) oproti ostatním druhům reaktorů. Největšího rozdílu lze dosáhnout u mírně znečištěných vod za současně nízké okolní teploty. Tato zařízení jsou mnohem více podobná čiřičům průchodným než s vločkovým mrakem a jedná se o dynamické vločkovače což se projevuje mimo jiné i převalováním kalu. Základním rysem cirkulátorů je zpětné čerpání suspenze vloček usazeného, nebo částečně usazeného kalu do přitékající vody. Mezi podstatné části těchto nádrží patří systém dávkování/míchání, směšovací zóna recirkulujících vloček a surové vody, rozvodný systém pro vzniklou směs, usazovací zóna, dekantační systém čisté vody (oddělení kapalné látky od látky pevné opatrným slitím), systém recirkulace kalu, systém odstraňování přebytečného kalu, případně kontrola vločkové suspenze. Recirkulace je řešena vně nebo uvnitř zařízení a může být:

- přímá – ta využívá čerpadel umístěných mimo, popřípadě v zařízení, vratný kal je obvykle odváděn z kalové jímky do mísící zóny zvláštním potrubím,
- nepřímá – pracuje díky vhodnému rozmístění recirkulačních otvorů pro současné využití sací síly radiálních čerpadel (pro pohon míchadla) a hydraulického umístění prostorů reaktoru k nasávání vytvořených neusazených vloček recirkulujícími otvory do části mísící, popřípadě nátoky vody z prostoru flokulačního, čiřicího nebo jeho spodní části (ejektorem zabudovaným do přívodního potrubí).

Vratný kal je možno přivádět před samotným přidáním chemikálií do upravované vody nebo do mísícího prostoru. Přidáním čerstvě vytvořených, popřípadě reaktivovaných vloček dosáhneme vysoké objemové koncentrace kalu. To umožňuje zvýšit flokulační rychlost a tím redukovat negativní vliv míchání vody v jedné komoře. Další výhodou je zvýšení schopnosti shlukování částic (adsorpce). Konstrukčně jsou tyto nádrže budovány jako kruhové (proudění radiální a vertikální), ojediněle čtvercové.

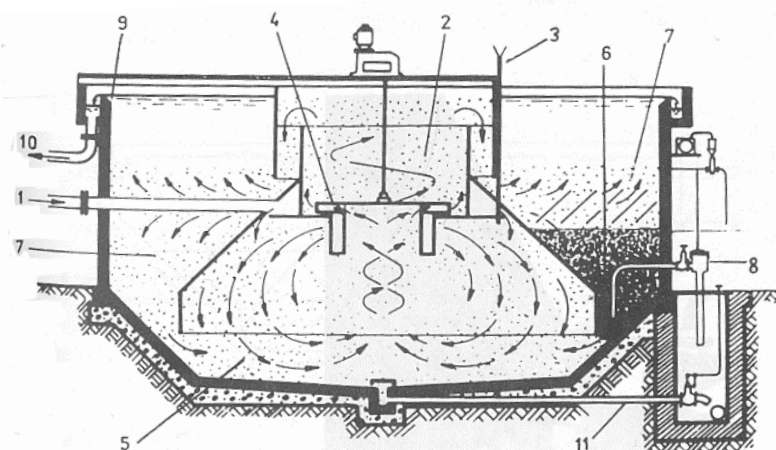
Oproti ostatním reaktorům mají cirkulátory mohutně dimenzované prostory mísící a flokulační, toto řešení přináší značnou výhodu hlavně v zimním období, kdy koagulace vlivem nízkých teplot neprobíhá efektivně. Dále zde nalezneme rozdíl u shrabováků, ty jsou uzpůsobené ke stírání kalu z rohů nádrže. Mezi zařízení osazené shrabovákem kalu u dna patří např. Reactivator (obr. 4.16), naopak zařízení s absencí shrabováku je zastoupeno jednotkou Accelator (obr. 4.17) nebo Accentrifloc. Recirkulačního principu je však nejvíce využito v uzavřených konstrukcích, které mohou pracovat pod tlakem.

Ty jsou vhodné pro malé a střední provozy pro úpravu vody, ale hlavně k dekarbonizaci (změkčování) vody. Klasickým zástupcem těchto čističů je Accelator firmy Infilco a Reactivator Graver. [6], [10]



- 1 – přítok surové vody, 2 – dávkování chemikálií, 3 – mísicí prostor, 4 – rychlomíchadlo, 5 – vločkovací prostor,
6 – čířicí prostor, 7 – shrabovák kalu, 8 – kalová jámka, 9 – odkalovací potrubí, 10 – sběrný žlab,
11 – odtok upravené vody, 12 – recirkulace kalu, 13 – vločkový mrak

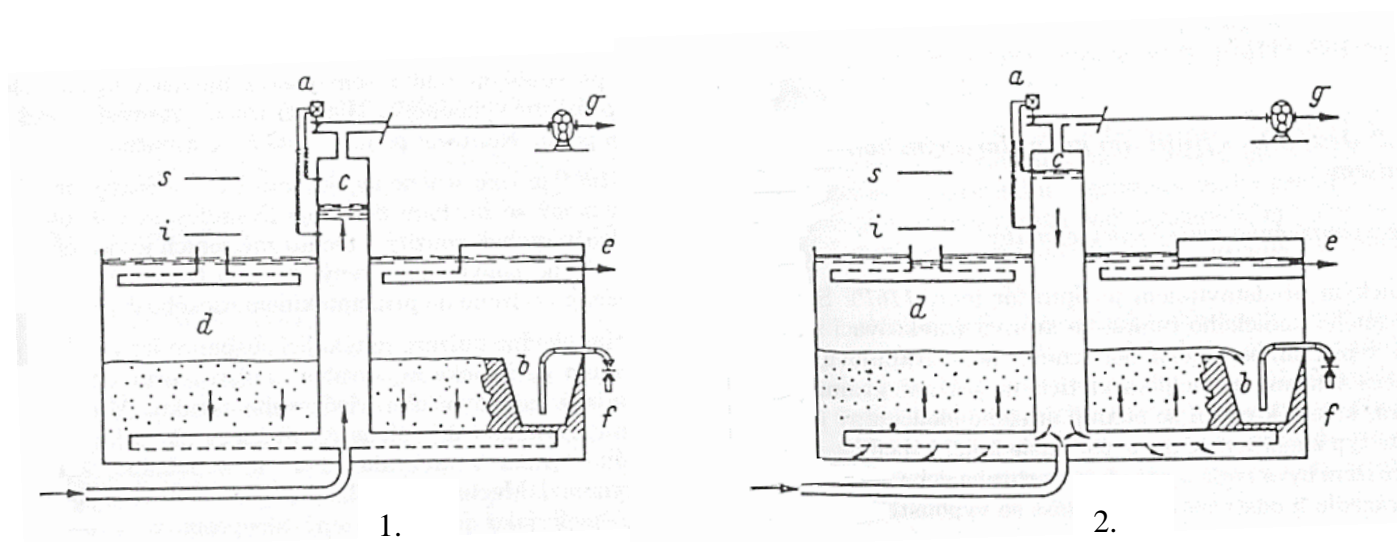
Obr. 4.16 Reactivator [6]



- 1 – přítok surové vody, 2 – mísicí prostor, 3 – přívod chemikálií, 4 – rychlomíchadlo, 5 – vločkovací prostor, 6 –
usazovací prostor, 7 – čířicí prostor, 8 – odkalovací potrubí, 9 – sběrný žlab, 10 – odtok upravené vody,
11 – vypouštěcí potrubí

Obr. 4.17 Accelator [6]

Čiřiče s periodicky se měnícím průtokem jsou specifická zařízení s plochým dnem a kalovým mrakem udržovaným v periodickém kmitání (pulzaci). Hlavním představitelem této skupiny je Pulsator firmy Degremont z Francie. Ten se buduje jako kruhová případně čtvercová nádrž (ta je po stránce využití zastavěného prostoru výhodnější) s délkou stran maximálně 50 m. Funkční cyklus zde můžeme rozdělit na dvě poloviny, viz obr. 4.18. V první fázi dochází k nahromadění vody s přidanými chemikáliemi ve vakuové komoře. Odsávané množství vzduchu z komory přitom musí zhruba odpovídat nátoku vody. V čiřicí zóně se v této chvíli voda nepohybuje a dochází tak k usazování kalu. V druhé polovině dojde k naplnění vakuové komory do úrovně 1 m nad hladinu v čiřiči. Otevře se vzdušník, tím pádem dojde k vypuštění vody značnou rychlostí do čiřicího prostoru skrz podélně uložené perforované potrubí. Kal s vodou stoupá, přebytečný kal přepadá do zahušťovacího prostoru odkud je odtahován automatickým ventilem. Vyčiřená voda je odváděna sběračem na další separační stupeň. Po klesnutí vody ve vakuové komoře na určenou vypínací hladinu dojde k opětovnému uzavření vzduchového ventilu a celý proces se opakuje. Plnění vakuové komory trvá 15–20 s a prázdnění pouhých 5 s, přičemž je do ní zavedeno rotační pístové čerpadlo pro tvorbu podtlaku. [6], [10]



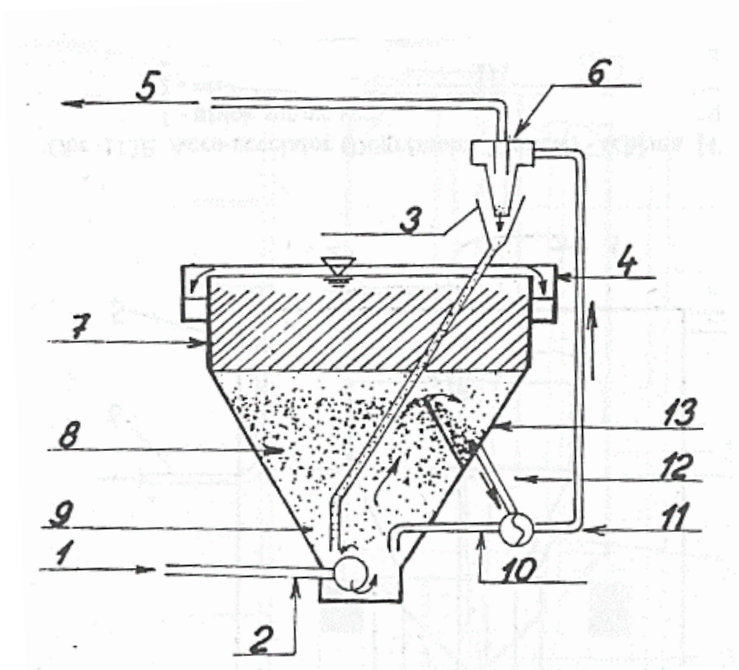
Obr. 4.18 Pracovní schéma Pulsatoru (1. v klidu, 2. při pulzových rázech) [6]

a – vzduchový ventil, b – zahušťovací komora, c- vakuová komora, d – čiřicí zóna, e – sběrač vyčiřené vody,
f – automatický ventil, g – rotační pístové čerpadlo

Jednotky s fluidním granulovaným kontaktním médiem

Dekarbonizační a změkčovací jednotky jsou navrhovány ve tvaru obráceného kónického tanku, změkčovací reakce nastává díky suspendované vrstvě granulovaného mramoru CaCO_3 . Tento způsob úpravy vody však není předmětem této práce, proto jej nebudu dále rozvádět.

Čiřiče se zatěžovanou flokulací mají obdobnou funkci jako systémy s vločkovým mrakem nebo recirkulací kalu, ale rozdílem je přidavek jemného písku nebo pemzy. To má za následek vznik shluku vloček vyšší hustoty a tím lze docílit vyššího povrchového zatížení. Zatěžkávadla je nutné dávkovat společně s koagulanty, popřípadě flokulanty a také je nutná jejich regenerace v hydrocyklonu (oddělení pevných částic pomocí odstředivých sil). Mezi představitele těchto čiřičů patří typ FLUORAPID (obr. 4.19) nebo CYCLOFLOC. [10]



- 1 – přítok surové vody, 2 – dávkování koagulantů, 3 – dávkování org. flokulantů, 4 – odtok upravené vody,
5 – odtah separovaného kalu, 6 – hydrocyklon, 7 – lamely, 8 – vločkový mrak, 9 – vracení mikropísku,
10 – sací potrubí kalu, 11 – vytlačené potrubí sedimentu, 12 – odvádění sedimentu, 13 – sběrný žlab sedimentu

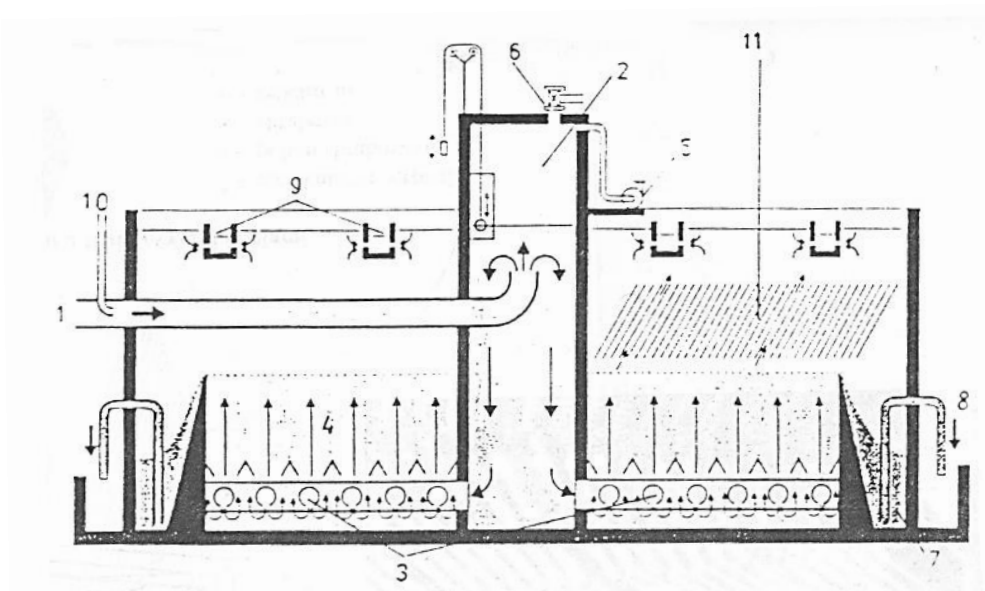
Obr. 4.19 Fluorapid [6]

Modifikované čiřiče

Jako moderní úpravu konstrukce stávajících čiřičích systémů pro jejich výsledky můžeme zmínit lamelovou vestavbu. Tímto krokem lze u čiřičů s vločkovým mrakem dosáhnout vyššího výkonu a zlepšení kvality upravené vody až o 50 %. **Lamely v čiřičích s vločkovým mrakem** jsou deskové, trubkové případně V-chevron. Obvyklé umístění lamel je nad hladinou vločkového mraku, kde dochází k separaci částic kalu pronikajících skrz vločkový mrak. Výjimku tvoří modernější varianty zařízení Super - Pulsator, ten má lamely osazené již v prostoru vločkového mraku. Účinnost lamel je závislá na mnoha faktorech, jedním z velmi důležitých je rovnoměrné rozdělení proudu vody přitékající na lamely.

Oddělený kal klesá po lamelách zpět do vločkového kalu, přičemž částice mají větší sedimentační rychlost než původní unklé. Klesají tedy proti směru proudu vyvločkované vody, než dojde k překročení jejich limitních vzestupných rychlostí. Následně by bez přítomnosti lamel došlo k růstu kalového mraku do prostoru vyčiřené vody.

Vestavba tedy plní nejen funkci separace mikrovloček, ale zároveň tvoří uklidňující prvek chránící čistou vodu od opětovného znečištění. Lamelovou vestavbu lze osadit na mnoho typů zařízení jako například reaktor FLUORAPID nebo francouzský čistič Super - Pulsator (viz obr. 4.20). [10]



- 1 – přítok surové vody, 2 – podtlakový prostor, 3 – rozváděcí děrované potrubí, 4 – čiřící prostor, 5 – dmychadlo, 6 – spínací relé, 7 – usazovací prostor, 8 – odkalovací potrubí, 9 – sběrný žlab, 10 – přívod chemikálií, 11 – lamely (deskové)

Obr. 4.20 Modernější verze francouzského Super - Pulsatoru [6]

4.4.3 Flotace

Principem tohoto procesu je tvorba bublin, které nadnáší suspendované částice na hladinu, kde jsou následně odstraněny. Funkce flotace je pro lidstvo známa již od šedesátých let devatenáctého století. V této době však nesloužila k úpravě vody, ale využívala se k separaci grafitových částic, oleje a následně k úpravě a zpracovávání kovových rud. Na počátku 20. století zažívá tato technologie velký rozmach po celém světě. Mezi léty 1877 až 1912 bylo zapsáno necelých 140 patentů pro tento proces. Mezi další odvětví využívající tuto metodu se zařadil papírenský průmysl a čištění průmyslových a odpadních vod. V oboru úpravy vody na vodu pitnou se tato technologie začala prosazovat až v sedmdesátých letech 20. století ve Švédsku. Jeden z důvodů pozdějšího využívání v tomto oboru pramenil z opatrnosti a konzervativnosti tehdejšího úpravárenského průmyslu. Dnes se v zahraničí jedná o velice rozšířený typ prvního separačního stupně při úpravě povrchové vody. V České republice došlo k první instalaci tohoto systému pro úpravu vody až mezi roky 2004 a 2005 na ÚV Mostiště. [4], [11]

V průběhu vývoje vzniklo pět odlišných typů flotace, kdy jejich klasifikace je založena na způsobu tvorby bublin:

1. Rozpuštěným vzduchem. Bublínky jsou produkovány snížením tlaku vody nasycené vzduchem.
2. Rozptýleným vzduchem. Tvorba bublin je vyvolána mechanickým mícháním kapaliny a vzduchu.
3. Pěnou. Bublínky vznikají přímým vstřikem vzduchu do kapaliny přes rozprašovače.
4. Elektrolýzou. Bublínky jsou generovány elektrolýzou vody.
5. Vakuem. Bublínky jsou uvolňovány z nasyceného roztoku pod tlakem. [11]

Z uvedených druhů se však pouze produkce bublin rozpuštěným vzduchem osvědčila pro potřeby úpravy vody, dnes se tedy v tomto oboru běžně setkáváme s označením DAF (dissolved air flotation – flotace rozpuštěným vzduchem). V devadesátých letech minulého století se sice francouzská firma Veolia Water začala zabývat možností kombinace flotace a ozonu, ale tento výzkum byl slepou uličkou, jelikož se informace o tomto programu z oficiálních internetových stránek firmy již nezobrazují. [11]

Flotaci rozpuštěným vzduchem lze realizovat těmito způsoby:

- vakuovou flotací,
- přímým vstřikováním vzduchu do vody (dostatečný tlak zajištěn čerpadlem nebo hydraulicky),
- čerpáním vody skrz nádobu s tlakovým vzduchem nebo saturátorem. [11]

Vakuová DAF

Při této metodě je voda nasycena vzduchem za atmosférického tlaku a následně je pod tlakem ve flotační nádrži vyvolán vznik bublin. Tento způsob má hned několik nevýhod v případě kontinuálního provozu. Uvolňuje malé množství vzduchu ve formě bublin. Podtlak je navíc omezen hodnotou poloviny atmosféry, ostatní metody DAF jsou přitom schopny pracovat s tlaky nasycení čtyř až šesti atmosfér. Jedná se navíc o velice sofistikované zařízení a je velice těžké udržet jeho správnou funkci v reálném provozu. Je zde také riziko částečné nebo úplné absence rozpuštěného kyslíku po vystavení upravované vody vakuu. To by znamenalo redukční podmínky ve flotační nádrži, což by vedlo ke zvýšení koncentrace rozpuštěného železa či manganu ve výstupní vodě. Vakuová flotace se využívala v papírenském průmyslu, ale byla velice rychle nahrazena tlakovou flotací. V minulosti se také zařazovala do procesu čištění odpadní vody, kde byla nahrazena otevřenými či tlakovými filtry. Pro úpravu vody na vodu pitnou se tato metoda, vzhledem k uvedeným nevýhodám, nevyužívá. [11]

Tlaková DAF s přímým vstřikováním vzduchu

Zde se tvorba bublin podněcuje přidáváním vzduchu přímo do upravované vody. Proud protékající vody může být plně přetlakován (saturace v plném proudu) nebo je přetlakována pouze část proudu pro rozpuštění přidávaného vzduchu (částečné saturace). Takto nasycené proudy se pak vstřikují do kontaktní zóny.

Přetlak proudu upravované vody je tvořen buď odstředivým čerpadlem, nebo dostatečným hydraulickým tlakem přítokové vody. Snížením tlaku ve flotační nádrži dojde k uvolnění bublin.

Tato metoda je využívána při úpravě odpadní vody, zde se proces označuje jako flotace „hlubinných šachet“. Avšak v procesu úpravy pitné vody není dosud znám žádný případ použití tohoto typu flotace. [11]

Tlaková DAF se saturátorem

Voda se v tomto případě tlakuje při současném přidávání vzduchu, dokud voda nedosáhne saturace. Následně je skrze tlakové redukční ventily či trysky vstřikována do prostoru flotační nádrže. Produkované bublinky mají velikost od 10 do 100 μm . Pro proces nasycení vzduchu se využívají saturační nádoby, běžně nazývané saturátory, při přetlaku 350 až 700 kPa, častěji však 400 až 600 kPa. Tento systém lze průtokově rozdělit do třech schémat: plný průtok, částečný průtok, recirkulační průtok. [11]

Plný průtok

V tomto systému je všechna přitékající voda tlakována a sycena vzduchem. Výsledkem je největší množství rozpuštěného vzduchu ze všech tří typů. Vykazuje tedy dobrý průběh procesu flotace, ale problémem je nutnost velkého a výkonného saturátoru, což může vést k oddělování větších částic. [12]

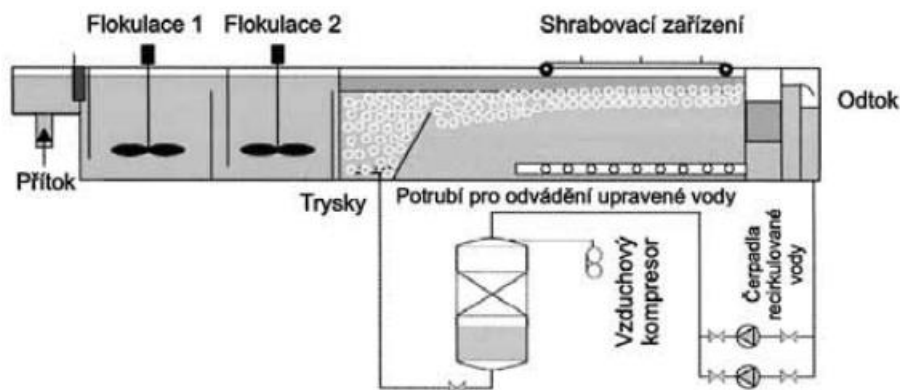
Částečný průtok

Zde je do prostor saturátoru odváděna pouze část přitékající vody. Zbytek je přiváděn rovnou do flokulační a flotační komory. Výhodou tohoto systému je snížení nároků na strojní vybavení saturační části, možnost lepší manipulace s přítokem pro prevenci kolísání průtoku v samotné flotační nádrži a není zde tak velké riziko rozbíjení vzniklých vloček. V porovnání se systémem plného průtoku má toto řešení zastoupení rozpuštěného vzduchu, nedosahuje tak velkých provozních přetlaků a je tedy méně výkonné. Společnou nevýhodou obou uvedených schémat zapojení je přítomnost vloček kalu v tlakových redukčních ventilech či tryskách. [12]

Recirkulace

V tomto režimu provozu je 20 až 50 % upravené vody vráceno do tlakového (saturačního) systému, zde dojde k jeho nasycení vzduchem a následně je vrácen na přítok neupravené vody přes tlakové redukční ventily či trysky. To zabraňuje narušování vzniklých vloček v neupraveném přítoku. Opět zde nejsou kladeny tak velké nároky na tlakový (saturační) systém oproti plnoprůtokovému provozu. Další výhodou je využívání již přečištěné vody zbavené vloček kalu, nehrozí tedy ucpávání tlakových redukčních trysek. Je zde však nutné navrhovat zpravidla větší nádrže vzhledem k propojení plného proudu přitékající vody a recirkulujícího nasyceného proudu. [12]

Všechny tři uvedené možnosti provozu jsou využívány pro průmyslovou úpravu vody, úpravu odpadní vody, ale pouze recirkulační systém je využíván pro úpravu pitné vody. [11]



Obr. 4.21 Schéma uspořádání zařízení flotace pro úpravnu pitné vody [13]

Pro tlakovou DAF se saturátorem v recirkulačním provozu platí:

- nátok neupravené vody do reakční zóny flotační nádrže (zde dochází ke spojení vloček s mikrobublínkami vzduchu, které nadnáší částice směrem k hladině),
- při hladině vzniká zóna vyflotované pěny (pěna se zde odstraňuje pomocí shrabovaku např. mostového či řetězového do odpadní jímky),
- pod zónou vyflotované pěny se nachází část vyflotované vody (zde se voda dopravuje skrz rošt u dna na druhý separační stupeň, přičemž část odtoku je vrácena do saturátoru). [4]

Výhodou této možnosti prvního separačního stupně oproti použití sedimentačních nádrží je:

- účinnost odstranění suspendovaných látek násobně až o řád,
- povrchové zatížení 10 až 20 m/h (při nutnosti intenzifikace procesu není třeba přidávat zatěžkávadla),
- menší potřebná plocha (1/5 až 1/10 plochy sedimentace),
- vyšší provozní jistota kvalitní úpravy vody (nezáleží zde tolik na velikosti, tvaru a hmotnosti vloček),
- možnost dočasného přetížení systému o desítky procent není problém, jelikož účinnost flotace klesá pomalu. [4]

Spotřeba elektrické energie se pohybuje v rozmezí 40 – 45 W na 1 m³ upravené vody. V jednotlivých ukazatelích kvality vody se flotace pohybuje ve vysokých hodnotách procentuálního odstranění znečištění. Odstranění mikroorganismů je v úrovni 95 – 99 %, železa (z koagulantu) 96 – 98 %, CHSK_{Mn} 70 – 80 % (i u silně eutrofizované vody lze dosáhnout již zde normy pro pitnou vodu), barvy vody na normu pitné vody. Navíc lze flotaci spojit v rámci jednoho zařízení s částí pomalého míchání procesu koagulace. [4]

4.5 DRUHÝ SEPARAČNÍ STUPEŇ

Jako druhý separační stupeň při dvoustupňové separaci se vždy zařazuje rychlá filtrace. Dochází zde k zachycení jemných částic z vody průchodem přes hlubokou vrstvu vodárenského písku dané zrnitosti. Rychlé filtry jsou nejpoužívanějším typem filtrů v oboru vodárenství. Běžně slouží k zachycení vloček z procesu čiření, které se neusadily v prostoru reaktoru. Lze je však také využít samostatně pro úpravu vysoce jakostní surové vody. Pro jejich dlouhodobou funkci s velmi dobrou účinností je vhodné přivádět na filtry vodu se zákalem ≤ 5 ZF. Slušných kvalitativních výsledků výstupní vody lze dosáhnout při zákalu přiváděné vody 10 – 20 ZF. Tyto hodnoty zákalu však mají negativní dopad na dobu provozu filtrů. Vyšší hodnoty zákalu jsou nepřijatelné za jakéhokoliv jiného než havarijního stavu. Často se využívá dávkování polymerního koagulantu společně s přiváděnou vodou, to zajišťuje lepší odstranění jemných částic z čiřicího procesu. Funkce rychlofiltrů není závislá na funkci mikroorganismů, rozdílem oproti pomalým filtrům je hrubší zrnitost náplně, vyšší filtrační rychlost a tím pádem menší potřebná plocha. [2], [8]

Rychlofiltry můžeme rozdělit dle různých hledisek.

Dle režimu proudění:

- otevřené (gravitační),
- tlakové.

Podle konstrukce:

- evropské,
- americké.

Podle směru proudění dělíme rychlofiltry na protékané:

- shora dolů,
- zdola nahoru,
- obousměrně.

Dle provozních podmínek rozdělujeme rychlofiltry:

- s cyklickým praním,
- s kontinuálním praním.

Podle počtu vrstev dělíme filtry na:

- jednovrstvé,
- vícevrstvé. [2]

V rámci této bakalářské práce uvedu pouze nejrozšířenější typy, jimiž jsou otevřené evropské a americké rychlofiltry a rychlofiltry tlakové. Nejprve je však nutné přiblížit funkci filtrace obecně.

Typickým rysem filtrace je **cyklický průběh**. Přičemž cyklem je myšlen čas, za který proběhne filtrační i prací fáze.

Během **filtrační fáze** dochází k separaci částic (velikosti $5 \cdot 10^{-4}$ až $3 \cdot 10^{-3}$ m) z vody. Jedná se o podstatně menší částice než velikost zrn náplně filtru, působením fyzikálně-chemických sil však tyto malé částice přilnou k povrchu zrn náplně nebo již zachycených částic. Dochází zde k odstranění hlavně zákalotvorných částic, mikroskopických řas, produktů koagulace (různé stádium agregace) atd. Filtrační proces probíhá nejprve snížením obsahu nerozpuštěných látek ve filtrátu na minimum a následně jeho opětovný nárůst vlivem zanášení filtrační vrstvy. Zanášení (kolmatace) filtru vede ke zvyšování hydraulického odporu vrstvy a tím vznikají tlakové ztráty. Průchod vody filtrační vrstvou požadovanou rychlostí je zajišťován tlakovým spádem. Jeho zdrojem u otevřených filtrů je pouze hydrostatický tlak od sloupce vody nad povrchem náplně, u tlakových rychlofiltrů pak tlak vyvíjí čerpadlo. Ukončení filtrační fáze se provádí ze dvou důvodů. Prvním je překročení přípustných hodnot zákalu ve filtrátu, druhým je zvýšení tlakových ztrát na úroveň tlakového spádu. Při optimálním nastavení provozu jsou oba uvedené důvody dosaženy ve stejný čas. **Prací fáze** je stejně důležitá jako samotná filtrace. Dochází zde k odstranění zachycených suspendovaných látek, pokud tento proces neproběhne dostatečně, zkracuje se filtrační fáze a zvyšují se náklady na provoz. Praní se provádí vodou (americké filtry) nebo vzduchem a vodou (evropské filtry).

Při praní pouze vodou je prací médium rozváděno po půdorysné ploše drenážním systémem. Vlivem rychlosti proudu vody dochází ke zvýšení mezerovitosti náplně, tvorbě turbulencí a změnám směru proudění. To zvyšuje tečné síly a ty spolu s mechanickým otěrem uvolňují zachycené částice z povrchu zrn. Prací médium je pak výsledná suspenze odváděna do odpadu. Pro hrubozrnější náplně filtrů se využívá praní vzduchem a vodou, rozvod po ploše filtru je řešen obdobně jako u předchozího typu. Nejprve dochází k praní pouze vzduchem (3 – 5 min) a následně vzduchem a vodou (5 – 15 min). Vzduchem dojde k předčištění natolik, že při vstupu prací vody již nedojde k nadzvednutí celé vrstvy.

Odstranění zachycených částic na povrchu zrn je zde realizováno kombinací účinku smykových sil a mechanického otěru. K dopírání se používá jen samotné vody, ta odplavuje uvolněnou suspenzi do odpadu. [2]

4.5.1 Otevřené rychlofiltry

Jedná se o železobetonové nebo ocelové otevřené nádrže o ploše 5 až 120 m². Omezení jejich rozměrů spočívá ve velikosti přívodu pracího potrubí a zabezpečení samotného pracího cyklu. Výkon rychlofiltru se pohybuje v rozmezí 3,6 až 7,2 m³/m²/h a je ovlivněn fyzikálními a chemickými vlastnostmi přiváděné vody, suspendovaných částic, filtrační náplně a způsob regenerace a provozu filtru. [4] Nádrže lze realizovat s mezidnem nebo s drenážním systémem na dně. Pro systémy s mezidnem jsou typické trysky rozmístěné rovnoměrně po celé jeho ploše. Ty jsou využívány pro přívod prací vody či pracího vzduchu a vody, zároveň však slouží pro odvodnění. Obvyklá velikost otvorů trysek je okolo 0,5 mm. Filtrační vrstva neleží přímo na mezidně s tryskami, ale je zde vrstva třídného štěrku tvořící podpěrnou vrstvu. Zároveň slouží jako ochrana před proniknutím pískové filtrační náplně se zachycenými částicemi kalu do filtrátu. Další důležitou funkcí je schopnost této vrstvy udržovat v rovnováze rychlost průchodu vody skrz vrstvu písku. Pokud bychom chtěli použít trysky bez využití štěrku, musely by trysky mít malé otvory zamezující vniku nežádoucích částic.

Tato varianta však není realizovatelná, jelikož by vznikl nárok na velké množství takových trysek na dně nádrže pro udržení požadované filtrační rychlosti a zabránění nárůstu tlakových ztrát. Místo trysek lze variantně využít i perforované potrubí uložené pod štěrkovou vrstvou. Toto potrubí pak opět plní funkci odvodu filtrátu a zároveň přívodu prací vody nebo vzduchu a vody. Nádrže s drenáží na dně se opět budují s filtrační a podpůrnou vrstvou, pod kterou je uložen drenážní systém. Ten je případně doplněn rozvodem pracího vzduchu do zvláštního potrubí. Jedná se o stavebně jednodušší variantu, ale je mnohem náchylnější na případné provozní problémy oproti systému s mezidnem. U obou variant je nátok vody a odtok prací vody realizován otevřenými žlaby v úrovni hladiny. Další společným rysem je odvod prvního filtrátu do odpadu, důvodem je horší účinnost filtru na počátku procesu. Provoz je zajištěn uzávěry, šoupaty nebo klapkami na ruční, hydraulické nebo pneumatické ovládání. Na odtok odfiltrované vody se často osazuje plovákový regulátor pro udržení stále hladiny v nádrži nebo filtrační rychlosti. Ventily pro přívod pracího média bývají automatizovány, střídání pracího a filtračního cyklu probíhá automaticky. [2], [8]

V praxi lze rozlišit dva základní typy otevřených rychlofiltrů:

- americký,
- evropský. [2]

Americký rychlofiltr

Vyznačují se jemnější náplní filtrační vrstvy. Lze je tedy prát pouze vodou, z tohoto důvodu častěji využívají nádrží s vhodnou podpůrnou vrstvou šterku a drenážním systémem na dně. Varianta nádrže s mezidnem je v tomto případě zbytečně nákladné řešení. [2]

Evropské rychlofitry

Ty využívají hrubší frakce filtračního materiálu. Kromě vody je tedy v pracím cyklu využíván vzduch. Pro rovnoměrné rozdělení vzduchu a vody se zde s výhodou využívají nádrže s tryskami v mezidně. Evropské rychlofitry lze využít i pro tzv. koagulační filtraci, zde je vynechán první separační stupeň. Tato aplikace je však možná pouze u kvalitní neznečištěné surové vody, většinou z podzemního zdroje, nebudeme se jí tedy více věnovat. [2]

4.5.2 Tlakové rychlofitry

Jsou obdobou otevřených rychlofiltrů s rozdílem uzavření celého systému do ocelových tlakových nádob. Lze je zařadit kamkoliv do tlakového systému potrubí bez negativních dopadů na jeho činnost, zároveň jím můžeme eliminovat dvojité čerpání upravované vody. Jsou nejvíce využívány pro úpravu podzemní vody dobré kvality bez předchozího procesu čiření. Kromě snižování zákalu jsou totiž schopné odstraňovat z vody železo a mangan. Toho lze využít i při úpravě povrchové vody v horských oblastech, tato voda je sice vysoce kvalitní, ale může obsahovat zvýšené množství uvedených prvků, které mohou negativně působit především na objekty vodojemů. Mezi takové oblasti patří vysočina v severní části Anglie, zde se tlakové filtry zařadily do mnoha úpraven vody. [8] Mezi další místa, kde se mohou uplatnit, je úprava vody pro průmyslové účely nebo v menších provozech úpraven, kde je velkou výhodou

jednoduchost provozu. Důležitou odlišností od otevřených filtrů je možnost větší tlakové ztráty při průchodu filtrem a zároveň není možné opticky kontrolovat funkci přímo v tělese filtru. Předchozí dávkování chemikálií a následné procesy (koagulace) nemusí probíhat v tlakovém režimu. V typické instalaci tlakového filtru můžeme pozorovat absenci možnosti regulace průtoku a předběžné úpravy, jedná se o další nevýhodu tohoto systému. Konstrukčně se tedy jedná o uzavřené válcové nádoby s klenutým dnem, mají mezidno s tryskami nebo drenážním systémem pro praní vodou či vodou a vzduchem, jako filtrační náplň obvykle slouží písek, méně často pak antracit či granulované aktivní uhlí. Proces filtrace v nich probíhá vyšší rychlostí přes větší mocnost filtrační vrstvy. Ztrátová výška v tlakových filtrech bývá do 5 m v. sl., rychlost filtrace až 40 m/h. [4]

[2], [8]

Základní rozdělení tlakových rychlofiltrů je na:

- stojaté (vertikální),
- ležaté (horizontální).

Další možné dělení tlakových filtrů je na:

- jednovrstvé – průtok shora dolů,
- dvouvrstvé – průtok shora dolů,
- svislý tlakový filtr s obousměrným průtokem,
- DDF – dvousměrné dvouvrstvé filtry,
- filtry se speciální náplní (plovoucí – např. polystyrenové kuličky). [2]

Stojaté tlakové rychlofiltry

Vyrábí se jak v jednovrstvé, tak dvouvrstvé variantě se směrem průtoku shora dolů nebo DDF filtry. Varianta jednovrstvého stojatého rychlofiltru protékaného shora dolů má mnohé možnosti využití. Pro filtraci se využívá lože z tříděného křemičitého písku, nejvyšší pracovní přetlak činí 0,6 MPa a maximální tlaková ztráta je 0,1 MPa. Nabízené průměry válcového pláště jsou v rozsahu 0,6 až 3,0 m. Jedná se tedy spíše o menší zařízení běžně s plochou pískového lože okolo 5 m². [2], [8]

Ležaté tlakové rychlofiltry

Své využití nalézají tam, kde je třeba větší plochy filtračního lože (větší průtoky), kdy by při použití stojaté varianty bylo zapotřebí velkého množství jednotek. Jedná se o ležatou válcovou nádrž s umístěním potrubí a ovládacích armatur vně před klenutým čelem. Dle zahraniční literatury šířka v úrovni hladiny nepřesahuje 5 m, délka nádoby se pohybuje do 15 m, s maximální výslednou filtrační plochou 50 m². [8] V našich podmínkách praxe jsou však běžně využívány mnohem menší zařízení.

Existují spekulace o snížení účinnosti filtru zúžením jednotlivých částí vlivem kruhového tvaru skořepiny, ale v praxi nebylo zjištěno významné ovlivnění funkčnosti systému tímto faktorem. [2], [8]

Dvousměrné tlakové rychlofiltry

Provozně tato varianta znamená přívod upravované vody nad filtrační vrstvu a do dna rychlofiltru, filtrát je odváděn ze středu lože. Při procesu praní se využívá pouze prací vody přiváděné do středu a spodní části rychlofiltru. Důvodem využívání této varianty je dvojnásobná filtrační plocha, menší odpor filtračního lože a není nutné používat dmychadlo pro praní vzduchem. Rizikem však je ucpávání scezovacích elementů v dolní části zařízení v případě nedostatečného či nespolehlivého mechanického předčištění surové vody. [2]

Vícevrstvé tlakové filtry

Touto modifikací je řešeno prodloužení pracovního cyklu oproti jednovrstvému uspořádání. Nárůst kalové kapacity je dosažen přidáním v přítokové části další vrstvy hrubšího materiálu o menší hustotě a vyšší zrnitosti. Lze vytvořit i více než dvě vrstvy, je však důležité vyvarovat se použití stejného materiálu. Může docházet k částečnému promíchání na styku vrstev při praní, což vede k nerovnoměrnému hydraulickému odporu po ploše rychlofiltru, k jeho nerovnoměrnému zatížení a snížení účinnosti.

Z uvedených faktů vyplývá, že každé řešení má své klady i zápory. Koncepcí, řešících jednotlivé problémy, je mnoho, proto se na dnešním trhu setkáme s nejrůznějšími variantami a modifikacemi tlakových rychlofiltrů. Jedním ze známých typů je DDF filtr (dvouproudý dvouvrstvý filtr). Jedná se o velice sofistikované zařízení, které je možné využívat i při větším obsahu nerozpuštěných látek s mnohem vyšším průtokem a kalovou kapacitou oproti vertikálním filtrům stejné velikosti. Nevýhodou takto komplexních řešení je jejich konstrukční složitost a mnohdy i pracnost provozu (zejména v procesu praní). [2]

4.6 DEZINFEKCE VODY

I upravená na pohled čistá voda může obsahovat choroboplodné zárodky a tím představovat zdravotní riziko pro konečného uživatele. Dnes v naší oblasti je toto hygienické zabezpečení vody minimální požadovanou úpravou veškeré surové vody, která by měla sloužit pro pitné účely. Tento proces se provádí v poslední fázi úpravy vody, před její akumulací a distribucí ke konečnému uživateli. Tímto krokem bylo docíleno eliminování dříve šířených nemocí a epidemií jako například tyfus, úplavice nebo cholera. Původci infekčních chorob jsou pro lidské oko zpravidla neviditelné, jedná se o bakterie, viry, bacily nebo prvoky. Bakterie se sice z větší části zachytí již v průběhu úpravy vody s vločkami kalu, je to dáno výskytem absorbovaných iontů na jejich povrchu, navíc nesou elektrický náboj. Viry jsou naopak schopné projít skrz veškeré stupně separace.

Ke zneškodňování choroboplodných zárodků v dnešní době nejčastěji využíváme:

- chlorování,
- ozonování,
- ultrafialové záření.

Účinnost procesu hygienického zabezpečení je závislá na dávce a použitém druhu dezinfekce, výskytu choroboplodných zárodků (druh, počet, odolnost vůči dezinfekčním prostředkům), teplotě vody a délce působení činidla. Přičemž účinnost dezinfekce roste s dávkou činidla, jeho zbytkovým obsahem ve vodě a délkou jeho působení. Důležitou podmínkou je také předchozí úspěšná úprava na všech separačních stupních. [3], [10]

4.6.1 Dezinfekce chlorem a jeho sloučeninami

Jedná se o celosvětově nejrozšířenější způsob dezinfekce vody. Je to dáno velkou baktericidní účinností již při malých dávkách tohoto prostředku, dále jeho jednoduchým použitím, kontrolou a silnými oxidačními účinky (využití při odstraňování železa, manganu, sirovodíku a organických látek). Chlor je žlutozelený plyn těžší než vzduch, má pronikavý dusivý zápach a lze ho nalézt ve skupenství plynném, kapalném i tuhém. Je dodáván zkapalněný v 60 kg ocelových lahvích nebo v tlakových nádržích o hmotnosti 500 kg a více. Ve vodě je tato chemikálie dobře rozpustná, ale s rostoucí teplotou klesá. Jedná se o velmi reaktivní prvek tvořící některé oxidy, kyseliny a jiné sloučeniny, z nichž se k dezinfekci vody využívají některé chlornany, oxid chloričitý a chloraminy. Z chlornanů se ve vodárenství využívá chlornan sodný NaClO (běžně známý jako chlorové bělidlo SAVO), vápenatý $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (chlorové vápno) a hořečnatý $\text{Mg}(\text{ClO})_2$. Oxid chloričitý ClO_2 se nejčastěji vyrábí okyselením chloritanu sodného a působením chlóru. Je využíván pro své schopnosti vodu dezinfikovat a zároveň zneškodňovat některé nepříjemné pachy (po řasách, rybině apod.).

Chloraminy mají schopnost postupného uvolňování chlóru z chemické vazby, tato vlastnost je výhodná při dopravě vody na velkou vzdálenost v rozsáhlých skupinových vodovodech. Chlorové vápno se dříve využívalo pro nárazové dezinfikování vodohospodářských zařízení. Potřebná dávka chlóru se odvíjí od vlastností vody jako je její teplota, hodnota pH, obsah organických látek a stupeň biologického oživení. Minimální doba kontaktu pitné vody s volným chlórem je dvě hodiny před použitím. Důležité je vhodné provozování vodovodní sítě zajištěním potřebného tlaku a kontinuální dávkování dezinfekčních prostředků. Chlorování řídíme pro udržení koncentrace volného chlóru v nejvzdálenějším místě sítě v rozmezí 0,05 až 0,3 mg/l. Spotřeba chlóru přitom kolísá od 0,1 mg/l (čisté podzemní vody) do 3,0 mg/l (znečištěné povrchové zdroje).

Při překračování těchto dávek se nadbytek tohoto prvku projevu velice rychle zápachem a pachutí vody, tyto projevy jsou jednoduše rozpoznatelné a tím pádem se o tomto problému provozovatel velice rychle dozví od nespokojených uživatelů. Dávkování chlóru do vodovodního potrubí je zajištěno chlorátorem.

Přičemž rozlišujeme dva způsoby provádění chlorace:

- přímá chlorace – rozptyl drobných bublinek expandovaného chlóru,
- nepřímá chlorace – po redukci tlaku chlóru (při jeho skladování v tlakové nádrži) se přidává 2–5 % roztok.

Tato činnost se provádí v chlorovně, ta musí být co nejmenší, oddělena od ostatních prostor úpravny, dobře tepelně izolována pro udržení stálé teploty a dobře odvětrávána. [3], [10]

4.6.2 Dezinfekce ozonem

Jedná se o nejsilnější oxidační a dezinfekční prostředek. Jde o toxický plyn vzniklý při štěpení molekul kyslíku na atomy a jejich spojení s molekulou O_2 , probíhá průchodem vzduchu (kyslíku) mezi dvěma elektrodami s vysokým napětím. V plynném stavu má namodralou barvu, kapalný je černomodré barvy. Rozpustnost klesá při zvyšování teploty vody. Ozon se velice rychle po aplikaci do vody rozpadá na molekulu kyslíku a reaktivní atomární kyslík, který se buď sloučí na molekulární kyslík nebo reaguje s přítomnými anorganickými či organickými látkami. Baktericidní účinek nastává při dosažení koncentrace 0,1 až 0,2 mg/l při době kontaktu 1 až 2 min, virucidní pak při koncentraci 0,4 mg/l a době kontaktu 4 min. V reálných provozech se doba působení ozonu volí od 4 do 12 min. Je nutné řešit dokonalé odvětrání prostoru s ozonizátory i místy směšování ozónu s vodou, jelikož již koncentrace 20 mg/m^3 má za následek ztrátu vědomí a smrt. Ke směšování ozonu s upravovanou vodou dochází nejčastěji v těchto zařízeních:

- kontaktní nádrže s probubláváním ozonu sloupcem vody zdola,
- ejektory s přísáváním ozonu (použití pro potřeby menšího výkonu),
- rotorové mísiče s vnitřním rotujícím vertikálním kuzelem přísávajícím ozon. [3], [10]

4.6.3 Dezinfekce UV zářením

První zkušenosti s touto možností úpravy pitné vody jsou již z roku 1906 z města Marseille, skutečný průlom v použití této technologie však nastal v roce 1980 v Severní Americe.

Toto záření je schopno likvidovat nejen bakterie, ale i jejich spóry při vlnové délce 200 až 300 nm (nejúčinnější vlnová délka 254 nm). Zdrojem ultrafialového záření je rtuťová výbojka:

- vysokotlaká – vydává účinnější UV záření, energeticky náročnější, životnost 3000 h,
- nízkotlaká – méně účinné UV záření, energeticky úspornější, konstrukčně podobné jako neonové zářivky, životnost 5 000 až 10 000 h.

Oba uvedené typy výbojky pracují v oblasti napětí 100–150 V, kontrola jejich výkonu je prováděna čidly a výměna za novou je nutná při poklesu intenzity záření na cca 70 %.

Tato metoda má nesporné výhody oproti předchozím uvedeným typům dezinfekce:

- odpadá sledování a doplňování chemikálií,
- není nutná odborná obsluha a údržba dávkovacího zařízení,
- absence analytické kontroly,
- voda nemění chemické, chuťové ani pachové vlastnosti,
- žádný přírůstek chemických či toxických látek,
- doba ozáření od desetin sekund do několika minut (dle konstrukce zařízení a tloušťky ozářované vrstvy)
- likviduje patogeny odolávající chloru i ozonu.

Technicky je ozáření řešeno průtokem vody skrz křemenné potrubí, věncovitě osazeným UV zářiči, rovnoběžně s osou potrubí.

Účinky jednotlivých reflektorů se překrývají, jelikož každý z nich disponuje vlastním reflektorem. Tím vzniká reaktorová komora s koncentrovaným zářením. Podélný průtok vody kolem jedné UV lampy umístěné v profilu potrubí lze využít u menších provozů, což značně snižuje pořizovací náklady. V poslední době jsou již na trhu nová moderní zařízení, která jsou vybavena jednou nebo více řadami plošných zářičů, osazených kolmo na směr proudění vody.

Pro správnou funkci je nutné, aby voda přiváděná k dezinfekci UV zářením neobsahovala železo, mangan a byla velmi čistá. To znamená bezchybnou separaci na předchozích stupních úpravy vody. Nevýhodou je zde možnost opětovné kontaminace, UV záření totiž nemá reziduální (doznívající) efekt. [3]

4.7 ZUŠLECHŤOVÁNÍ VODY

Tímto pojmem je myšleno vylepšení organoleptických vlastností upravované vody nebo přidání složky, kterou přírodně voda neobsahuje a má pozitivní účinky pro organismus spotřebitele při její konzumaci. Nejpoužívanějšími technologiemi jsou obohacování vody fluorem nebo hořčíkem a odstraňování pachů a příchutí.

4.7.1 Obohacování vody

Již v šedesátých letech minulého století se na našem území obohacovala pitná voda fluoridy pro prevenci vzniku zubního kazu. Jednalo se tehdy o města Brno a Tábor. K fluorování se nejčastěji využívá fluorid sodný NaF (dávky kolem 2,5 mg/l) a fluorokřemičitan sodný Na_2SiF_6 (dávky 1,8 mg/l), méně pak kyselina fluorokřemičitá H_2SiF_6 (zde je nutná zvláštní pozornost na protikorozi ochranu).

Dávkování probíhá za pomoci sypkých dávkovačů ve formě PVC nebo pogumovaných nádrží. Přičemž optimální hodnota koncentrace fluoru u koncového uživatele je 0,8 – 1,0 mg/l. Toto rozmezí je velice úzké a proto není snadné jeho dlouhodobé udržení ve všech částech v síti. Od doby, kdy se tato technologie začala využívat se navíc značně zlepšila dostupnost zdrojů fluoru z běžně dostupných potravin, zaznamenáváme tedy v poslední době náhradu této možnosti za obohacování hořčíkem. Toho je v potravě stále málo a každý další zdroj tohoto, pro lidský organismus nezbytného prvku, je žádoucí.

Dalším důvodem jeho lepší použitelnosti ve vodárenství je širší rozsah optimální koncentrace v pitné vodě, ta se totiž pohybuje od 30 do 60 mg/l (pozitivní účinky na lidský organismus nastávají již při koncentraci 10 mg/l). Vhodnou variantou obohacení upravované vody hořčíkem je využití dolomitických materiálů při jejím odkyselování. Myšlenka propojení obou zmíněných obohacujících prvků přídatkem fluoridu nebo fluorokřemičitanu hořečnatého se ukázala ekonomicky neproveditelná. [3], [10]

4.7.2 Odstranění pachů a příchutí

Chemickou úpravou často dochází ke zvýraznění pachů a chutí přírodních vod. U vody povrchové se často jedná o zápach po rybně zesílený chlorováním (stojaté rybníční či jezerní vody), pachů či zápach od průmyslových vod (vodní toky) nebo rozkladných procesů mikroorganismů (i jejich činností např. kvetení vody v letních měsících) a rostlin (vodní nádrže). U podzemních vod s koncentrací železa a manganu nad 0,2 mg/l se nejčastěji setkáme s pachem sirovodíku nebo bahenního plynu. Zmíněné nežádoucí vlastnosti upravujeme fyzikálními nebo chemickými metodami. [3], [10]

Fyzikální metody

Při tomto druhu zušlechťování je využíváno těkavosti pachotvorných látek a adsorbovatelnosti na látky povrchově aktivní.

Nejjednodušší možností těchto metod je provzdušňování vody. Jedná se o gravitační zařízení (kaskády a ventilační věže), trysková (skrápěný filtr a tlakový provzdušňovač) a difuzorová (provzdušňovací zařízení Inka). Často však tato zařízení musíme kombinovat s chlorováním, jelikož pachotvorné látky nejsou dostatečně těkavé.

Mnohem efektivnější je použití aktivního uhlí. To se vyrábí z dřevěného uhlí a ve vodárenské praxi se s ním setkáváme ve formě granulí (zrn) o velikosti 1,5 až 3,0 mm nebo prášku (výrobce Norit, Desorex, Penta).

Práškové uhlí se nejčastěji využívá pro nárazové dávkování při rychlém snížení kvality surové vody, hlavně pachu. Přidávání uhlí se provádí suchými dávkovači, častěji se však vypouští připravená suspenze (1:10). Spotřeba se dle závažnosti pachového problému pohybuje od 4 do 30 mg/l. Dávkování probíhá před filtry pro jeho zachycení, z toho však vyplývá častější zanášení filtrů. Při havarijní situaci, nebo absenci dávkovače lze použít práškové uhlí přímým sypáním na filtry. Jedná se však pouze o krátkodobé řešení vlivem prašnosti, to má negativní vliv jak na chod, tak na hygienické podmínky provozu úpravny.

Zrnité uhlí se používá jako náplň do tlakových či otevřených filtrů. Účinná plocha tohoto uhlí činí 600 až 1000 m² na 1 g. Před vstupem na takovéto filtry musí být voda úplně zbavena suspendovaných látek, ty mohou během pár týdnů provozu rapidně snížit jejich účinnost inaktivací povrchu náplně. Aktivní uhlí se vrství v mocnostech 0,6 – 1,0 m (otevřené filtry) a 1,0 – 2,0 m (tlakové filtry) na 30 až 40 cm písku tvořícího podložnou vrstvu. Tlakové filtry dosahují filtrační rychlosti 20 m/h, otevřené pak 5 – 10 m/h. Za 1 až 2 roky provozu, dle zatížení, se filtrační náplň vyměňuje.

Jedná se o nákladný proces, ale regenerace na místě (párou, zahřátím na 500 °C, hydroxidem sodným) je stejně drahá, je navíc náročná, jelikož nesmí dojít k promísení vrstvy aktivního uhlí s podložnou vrstvou písku. Při současném využití aktivního uhlí a ozonu lze zvýšit životnost filtrů. Tato kombinace se navíc osvědčila při likvidaci pesticidů, které se do surové vody dostaly za deště splachem z polí. [3], [10]

Chemické metody

Mezi nejběžnější typy patří oxidace chlorem, oxidem chloričitým, ozonem. Tyto látky jsou zmíněny výše v textu v kapitole 4.6 Dezinfekce vody. Další možností je oxidace manganistanem draselným KMnO_4 , ten se dávkuje při snížení chloru ve vodě, což by vedlo k degustativním závadám. Dávka 0,5 – 2,0 mg/l KMnO_4 se přidává spolu s hlavními srážedly do upravované vody před jejím případným vápněním, to totiž značně snižuje jeho účinnost. [3]

4.8 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Při procesu úpravy vody vznikají vodárenské kaly jakožto odpadní produkt, který je vzhledem ke značným objemům dále nutné zpracovat a bezpečně zlikvidovat nebo jinak využít. Dle původu vzniku v rámci linky úpravy vody je možné následující dělení:

- kaly z mechanického předčištění vody, nejsou příliš vodnaté, mají zrnitý charakter a tvoří pouze malou část celkové produkce kalů,
- vločkové kaly ze zahušťovacích prostorů usazovací nádrže nebo čířiče, mají značný obsah přidaných koagulantů (nejběžněji hydroxidy železa a hliníku) a obsahují hodně vody,
- kaly z praní filtrů, jedná se o drobnější vločky s malou usazovací rychlostí,
- kaly z procesu dekarbonatace, jsou kompaktnější obdobou kalů ze zahušťovacích prostorů,
- kaly vznikající při změkčování a odkyselování vody.

Produkce a koncentrace kalu se odvíjí od kvality surové vody, navržené technologie na úpravě a použitých pomocných látkách v rámci procesu úpravy vody. V rámci dvoustupňové úpravy vody je nejvíce kalu vyprodukováno na prvním separačním stupni, tudíž z prostor zahušťování v rámci usazovacích nádrží a čířičů.

Jak se vzniklými kaly naložit? Využití vodárenských kalů je v současné době značně problematické. Není povoleno jejich vypouštění do vodních toků, lze je sice odvést do stokové sítě a likvidovat je v rámci procesů čištění odpadních vod, ale touto variantou dochází k nadměrnému zatěžování stávajících objektů ČOV. V laboratorních podmínkách jsou prováděny pokusy o reaktivaci kalů, pro možnost využití koagulantů v nich obsažených. K tomuto účelu se například využívá kyseliny sírové H_2SO_4 (hlinité koagulanty), ale výsledné oživené produkty jsou prozatím příliš znečištěné, proto mohou být využity pouze pro procesy čištění odpadních vod.

Dále se prověřuje možnost uplatnění v zemědělství, ať již přímou aplikací na půdy nebo přidavkem do kompostů. Tuto možnost je však nutné ověřovat na konkrétních provozech.

Použitelnost těchto kalů při výrobě stavebních hmot není velká, a proto provádění výzkumů o využití v tomto oboru je spíše sporadické. Ve většině případů se tedy využívá likvidace na vhodných skládkách, zde je kladen důraz na obsah sledovaných látek ve výluhu. Pro veškeré uvedené možnosti nakládání s kaly je nutné jejich zahuštění a odvodnění pro snížení manipulačních objemů. Velká část těchto odpadů totiž obsahuje 94 až 99 % vody, což by bez její redukce znamenalo přesun i úpravu zbytečně velkých objemů a tím pádem i zvýšení celkových provozních nákladů. Tuto redukci je možné provádět bez využití energie (zahušťovací nádrže, kalová pole nebo kalové laguny), popřípadě s použitím energie (rotační filtry, kalolisy, pásové lisy a odstředivky). [3], [10]

4.8.1 Zahušťování kalů

Podstatou tohoto procesu je snížit objem vody na minimum. Vodnatý kal po určité době začne sám sedimentovat a dojde k vytvoření jasného rozdělení kal – voda. Nejlépe probíhá proces usazování a zahušťování u kalů železnatých a se zvýšeným obsahem minerálních látek (alkalické a z procesu změkčování). O něco pomalejší průběh této procedury mají kaly hlinité. Nejvíce využívaným zařízením pro tyto úkony je zahušťovací nádrž. Může být řešena jako statická nebo průtočná. U průtočných nádrží je zahušťování podporováno pomalým pohybem tyčí skrz vrstvu hustého kalu. U statické varianty se většinou využívá dvou nádrží s přerušovaným provozem. [3]

4.8.2 Odvodňování kalu

Zde dochází k odstranění vody ze suspenze pro dosažení kalu tuhé konzistence, ten je pak rýpatelný a lze s ním manipulovat jako se zeminou. Mezi přirozené způsoby odvodnění patří kalová pole a kalové laguny, s průběhem za atmosférického tlaku.

Uměle lze odvodnění provádět přes rotační filtry, kalolisy (přetlaková filtrace přes plachetky), pásové lisy (odvodňují dvě paralelní síta přes řadu vodících a přítlačných válců) a pomocí odstředivky (rotující buben chráněný pevným pláštěm, separace látek díky odstředivým silám). [3]

5 NÁVRH PRVNÍHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ

5.1 USAZOVACÍ NÁDRŽ

Navrhuji obdélníkovou usazovací nádrž s horizontálním průtokem.

5.1.1 Vstupní údaje

Úpravna vody střední velikosti o výkonu $Q = 80 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$

Doba zdržení $t = 2 \text{ hod} = 7200 \text{ s}$

Usazovací rychlost $u_s = 0,4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} = 0,0004 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Počet nádrží $n = 2$

Součinitel vertikálního vlivu na usazovací schopnost částic k dle usazovací rychlosti:

pro $u_s = 0,12$ až $0,15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ je $k = 1,8$ až $3,5$;

pro $u_s = 0,35$ až $0,60 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ je $k = 1,3$ až $2,0$.

Součinitel vertikálního vlivu na usazovací schopnost částic volím $k = 1,3$.

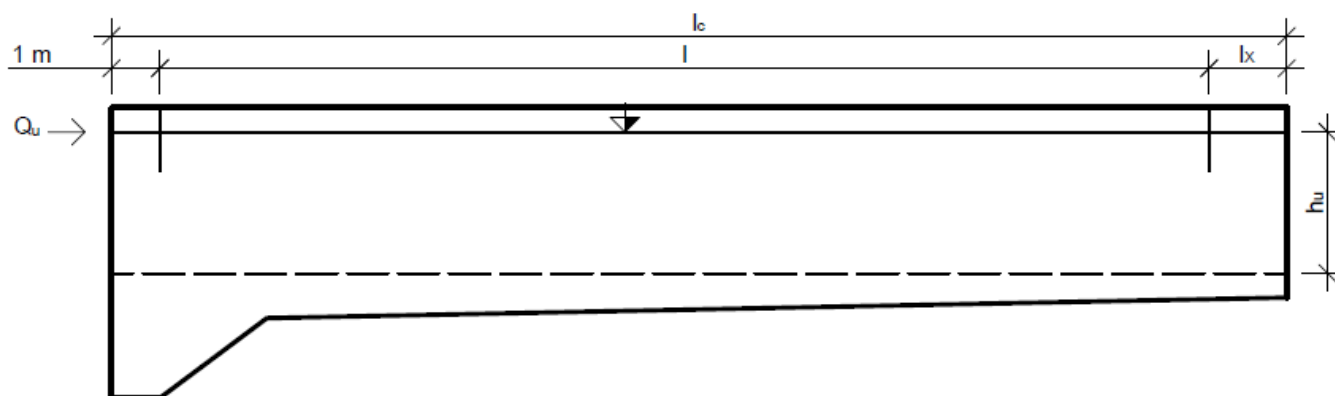
Vodorovná postupová rychlost v se volí v závislosti na usazovací rychlosti:

pro $u_s = 0,12$ až $0,15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ je $v = 2,0$ až $3,0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$;

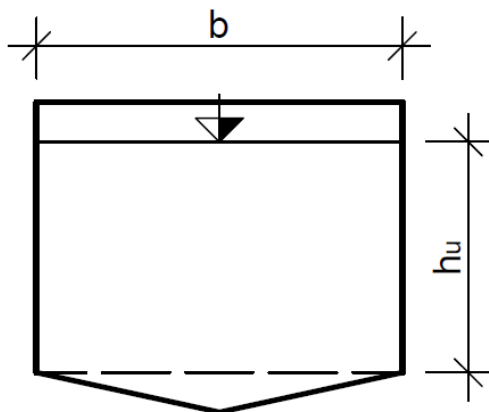
pro $u_s = 0,35$ až $0,60 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ je $v = 3,0$ až $12,0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jelikož $u_s = 0,4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ volím vodorovnou postupovou rychlost $v = 3,0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

5.1.2 Výpočet dle Hazenova principu [14]



Obr. 5.1 Schématický podélný řez usazovací nádrže



Obr. 5.2 Schématický příčný řez usazovací nádrže

Výkon jedné nádrže Q_u :

$$Q_u = \frac{Q}{n} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

$$Q_u = \frac{Q}{n} = \frac{80}{2} = 40 \text{ l} \cdot s^{-1} = 0,04 \text{ m}^3 \cdot s^{-1} = 144,0 \text{ m}^3 \cdot h^{-1}$$

Účinná hloubka usazovacího prostoru h_u :

$$h_u = u_s \cdot t [m] \quad (2)$$

$$h_u = u_s \cdot t = 0,0004 \cdot 7200 = 2,9 \text{ m}$$

Půdorysná plocha účinné části nádrže F :

$$F = \frac{k \cdot Q_u}{u_s} [m^2] \quad (3)$$

$$F = \frac{k \cdot Q_u}{u_s} = \frac{1,3 \cdot 0,04}{0,004} = 130,0 \text{ m}^2$$

Účinná délka nádrže l se počítá dle vztahu:

$$l = v \cdot t [m] \quad (4)$$

$$l = v \cdot t = 0,003 \cdot 7200 = 21,6 \text{ m}$$

Volím délku nádrže $l = 21,6 \text{ m}$.

Šířka nádrže b se počítá třemi způsoby:

- z půdorysné plochy nádrže (podle tzv. povrchového zatížení),
- z objemového zatížení (z výkonu nádrže děleného postupovou rychlostí a účinnou hloubkou nádrže),
- podle empirického vztahu délky a šířky nádrže, kdy podíl délky ku šířce má být v rozmezí 4 až 8.

$$b_1 = \frac{F}{l} [m] \quad (6)$$

$$b_1 = \frac{F}{l} = \frac{130,0}{21,6} = 6,0 \text{ m}$$

$$b_2 = \frac{Q_u}{v \cdot h_u} [m] \quad (7)$$

$$b_2 = \frac{Q_u}{v \cdot h_u} = \frac{0,04}{0,003 \cdot 2,9} = 4,6 \text{ m}$$

$$b_3 = \frac{l}{8} \text{ až } \frac{l}{4} [m] \quad (8)$$

$$b_3 = \frac{l}{8} \text{ až } \frac{l}{4} = \frac{21,6}{8} \text{ až } \frac{21,6}{4} = 2,7 \text{ až } 5,4 \text{ m}$$

Volím šířku nádrže $b = 4,6 \text{ m}$.

Skutečná doba zdržení t_s :

$$t_s = \frac{l \cdot b \cdot h_u}{Q_u} [m] \quad (9)$$

$$t_s = \frac{l \cdot b \cdot h_u}{Q_u} = \frac{21,6 \cdot 4,6 \cdot 2,9}{144,0} = 2,0 \text{ hod}$$

Splňuje podmínku $t_s \geq 1,5 \text{ hod}$.

Zatížení přepadové hrany na odtoku z_o nesmí být větší než $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$:

$$z_o = \frac{Q_u}{b} [\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (10)$$

$$z_o = \frac{Q_u}{b} = \frac{40}{4,6} = 8,7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

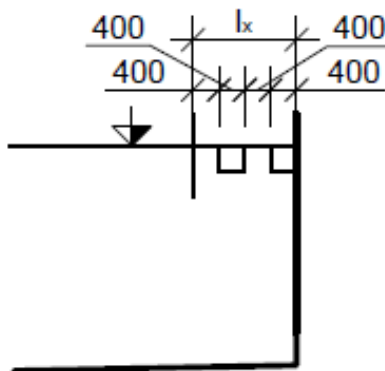
Při použití pouze jedné přepadové hrany je překročeno její zatížení, je tedy nutné použít 3 přepadové hrany pro dodržení $z_o \leq 3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

Celková délka nádrže l_c :

$$l_c = 1 \text{ m} + l + l_x \text{ [m]} \quad (11)$$

$$l_c = 1 \text{ m} + l + l_x = 1 + 21,6 + 1,6 = 24,2 \text{ m}$$

kde l_x je délka prostoru odtoku pro umístění přepadových hran. Jelikož byly navrženy tři přepadové hrany, uvažují dva odběrné žlaby s šířkou 0,4 m a mezerou mezi nimi 0,4 m - viz obr. 5.3.



Obr. 5.3 Schéma umístění odběrných žlabů na konci nádrže (kótováno v mm)

Hydraulický poloměr R :

$$R = \frac{S}{O} \text{ [m]} \quad (12)$$

$$R = \frac{S}{O} = \frac{b \cdot h_u}{(2 \cdot h_u) + b} = \frac{4,6 \cdot 2,9}{(2 \cdot 2,9) + 4,6} = 1,3 \text{ m}$$

Posouzení Reynoldsova čísla Re :

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu} [-] \quad (13)$$

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu} = \frac{0,003 \cdot 1,3}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 2929$$

kde ν je kinematická viskozita vody, kdy uvažujeme její hodnotu při teplotě vody $T = 10^\circ\text{C}$.

Hodnota Reynoldsova čísla splňuje podmínku $Re \leq 3000$.

Úhel stěn kalového prostoru $\alpha = 50^\circ$.

Objem kalového prostoru V_k :

$$V_k = \frac{1}{3} \cdot b_s \cdot b_s \cdot \frac{b_s}{2} \text{ [m}^3\text{]} \quad (14)$$

$$V_k = \frac{1}{3} \cdot b_s \cdot b_s \cdot \frac{b_s}{2} = \frac{1}{3} \cdot 6 \cdot 6 \cdot \frac{6}{2} = 27,6 \text{ m}^3$$

5.1.3 Shrnutí výpočtu

Dle vstupních údajů byly jako první separační stupeň navrženy dvě obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem. Každá nádrž má účinnou šířku 4,6 m, účinnou hloubku 2,9 m, účinnou délku 21,6 m a celkovou délku 24,2 m (bez tloušťky stěn). Odtok na druhý separační stupeň bude realizován dvěma odběrnými žlaby se třemi přepadovými hranami.

5.2 ČIŘIČ

Navrhuji čířič s mechanickým vznosem vločkového mraku.

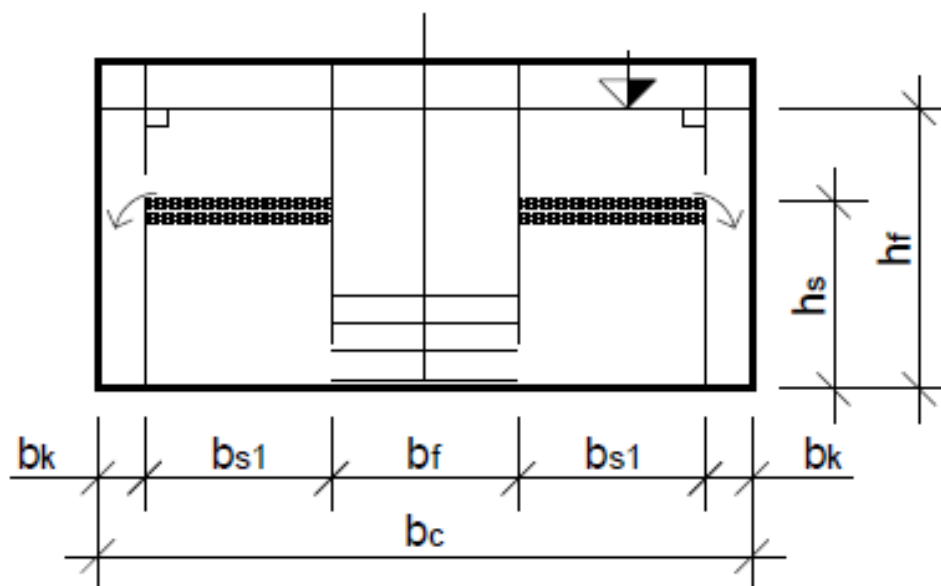
5.2.1 Vstupní údaje

Úpravna vody střední velikosti o výkonu $Q = 80 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzestupná rychlost v hladině vločkového mraku $v = 1,2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} = 0,0012 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Počet čířičů $n = 4$

5.2.2 Výpočet velikosti čířiče



Obr. 5.4 Schématický obrázek čířiče

Separační prostor

Výkon jednoho čířiče Q_{opt} :

$$Q_{opt} = \frac{Q}{n} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (15)$$

$$Q_{opt} = \frac{Q}{n} = \frac{80}{4} = 20 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} = 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 72,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Šířka jedné separační části čířiče $b_{s1} = 2 \text{ m}$

Celková šířka separační části čířiče $b_s = 4 \text{ m}$

Výška separační části čířiče $h_s = 2,0 \text{ m}$

Délka separační části čířiče l_s :

$$l_s = \frac{Q_{opt}}{v \cdot b_s} [m] \quad (16)$$

$$l_s = \frac{Q_{opt}}{v \cdot b_s} = \frac{0,02}{0,0012 \cdot 4} = 4,2 \text{ m}$$

Doba zdržení v separační části t_s :

$$t_s = \frac{b_s \cdot h_s \cdot l_s}{Q_{opt}} [s] \quad (17)$$

$$t_s = \frac{b_s \cdot h_s \cdot l_s}{Q_{opt}} = \frac{4 \cdot 2,0 \cdot 4,2}{0,02} = 1667 \text{ s} = 27,8 \text{ min}$$

Splňuje podmínku $t_s \geq 10 \text{ min}$.

Flokulační prostor

Šířka flokulační části čířiče $b_f = 2 \text{ m}$

Výška flokulační části čířiče $h_f = 3,0 \text{ m}$

Délka flokulační části čířiče $l_f = 4,2 \text{ m}$

Doba zdržení ve flokulační části t_f :

$$t_f = \frac{b_f \cdot h_f \cdot l_f}{Q_{opt}} [s] \quad (18)$$

$$t_f = \frac{b_f \cdot h_f \cdot l_f}{Q_{opt}} = \frac{2 \cdot 3,0 \cdot 4,2}{0,02} = 1260 \text{ s} = 21,0 \text{ min}$$

Splňuje podmínku $15 \leq t_f \leq 25 \text{ min}$.

Přelivná hrana odtoku

Zatížení přepadové hrany na odtoku z_o nesmí být větší než $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$:

$$z_o = \frac{Q_{opt}}{l} [\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (19)$$

$$z_o = \frac{Q_{opt}}{l} = \frac{20}{4,2} = 4,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

Při použití pouze jedné přepadové hrany je překročeno její zatížení, je tedy nutné použít 2 přepadové hrany pro dodržení $z_o \leq 3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

Odtokový žlab

Rychlost vody v odtokovém žlabu $v_{o\dot{z}} = 0,4 \text{ m/s}$

Průtočná plocha odtokového žlabu $S_{o\dot{z}}$:

$$S_{o\dot{z}} = \frac{Q_{opt}}{v} [\text{m}^2] \quad (20)$$

$$S_{o\dot{z}} = \frac{Q_{opt}}{v} = \frac{0,02}{0,4} = 0,05 [\text{m}^2]$$

Šířka odtokového žlabu $b_{o\dot{z}} = 0,25 \text{ m}$

Výška odtokového žlabu $h_{o\dot{z}}$:

$$h_{o\dot{z}} = \frac{S_{o\dot{z}}}{b_{o\dot{z}}} [\text{m}] \quad (21)$$

$$h_{o\dot{z}} = \frac{S_{o\dot{z}}}{b_{o\dot{z}}} = \frac{0,05}{0,25} = 0,2 [\text{m}]$$

Kalový prostor

Kalový prostor bude po obou stranách čířice, navrhnuji jeho šířku na jedné straně $b_{kl} = 0,5 \text{ m}$. Celková šířka kalového prostoru $b_k = 1,0 \text{ m}$. Délka kalového prostoru $l_k = 4,2 \text{ m}$.

5.2.3 Výpočet míchadla

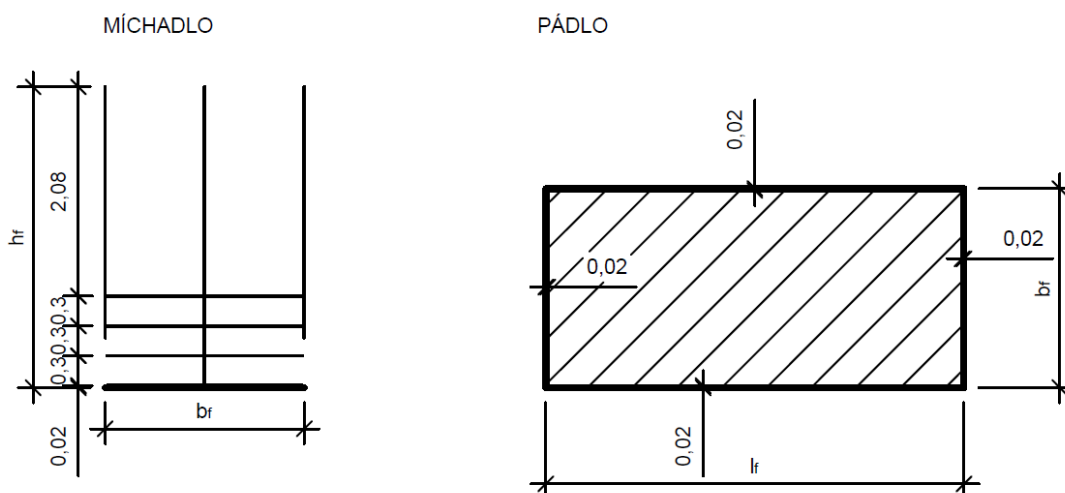
Ve flokulační části čířicí jednotky bude umístěno míchadlo osazené čtyřmi dvojicemi deskových pádel.

Vzdálenost pádel od stěny flokulační části je v každé dvojici $l_A = 0,02 \text{ m}$.

Vzdálenost spodního pádla ode dna $0,02 \text{ m}$.

Maximální zdvih pádla $0,2 \text{ m}$.

Střední poloha pádla $0,12 \text{ m}$ ode dna čířice.



Obr. 5.5 Schématický obrázek míchadla a pádla čířice

Flokulační prostor F_f :

$$F_f = b_f \cdot l_f [m^2] \quad (22)$$

$$F_f = b_f \cdot l_f = 2 \cdot 4,2 = 8,4 m^2$$

Plná plocha pádla F_p :

$$F_p = (b_f - 2 \cdot l_\Delta) \cdot (l_f - 2 \cdot l_\Delta) [m^2] \quad (23)$$

$$F_p = (2 - 2 \cdot 0,02) \cdot (4,2 - 2 \cdot 0,02) = 8,2 m^2$$

Zastoupení otvorů u jednotlivých dvojic pádel:

1. dvojice deskových pádel

otvory: 35 %

plocha otvorů: $F_{O1} = 2,9 m^2$

plocha pádla: $F_{P1} = 5,3 m^2$

2. dvojice deskových pádel

otvory: 45 %

plocha otvorů: $F_{O2} = 3,7 m^2$

plocha pádla: $F_{P2} = 4,5 m^2$

3. dvojice deskových pádel

otvory: 55 %

plocha otvorů: $F_{O3} = 4,5 m^2$

plocha pádla: $F_{P3} = 3,7 m^2$

4. dvojice deskových pádel

otvory: 65 %

plocha otvorů: $F_{O4} = 5,3 m^2$

plocha pádla: $F_{P4} = 2,9 m^2$

5.2.4 Shrnutí výpočtů

Dle vstupních údajů byly jako první separační stupeň navrženy čtyři čířiče s mechanickým vlnosem vločkového mraku. Každý čířič má účinnou šířku 7 m, účinnou délku 4,2 m a účinnou výšku 3,0 m. Ve flokulačním prostoru každé čířící jednotky bude umístěno míchadlo se čtyřmi páry desek s otvory.

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsání možností prvního separačního stupně při dvoustupňové úpravě vody a následný výpočet dvou vybraných typů prvního separačního stupně včetně zpracování jejich výkresové dokumentace.

Cíle práce byly splněny, níže je stručné shrnutí, jak jich bylo dosaženo.

V teoretické části je popsán celý postup dvoustupňové úpravy vody, tedy od zdroje vody po její distribuci k uživateli. Jednotlivé technologie a stupně úpravy vody jsou řazeny postupně dle jejich návaznosti. Varianty prvního separačního stupně jsou popsány podrobněji s ohledem na téma bakalářské práce.

V praktické části je proveden návrh prvního separačního stupně pro úpravnu vody střední velikosti o výkonu $Q = 80 \text{ l/s}$, a to s použitím obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem nebo čířiče s mechanickým vznosem vločkového mraku.

Při použití usazovací nádrže je dle vstupních údajů vhodné využít dvou kusů nádrží, každá s účinnou šířkou 4,6 m, účinnou hloubkou 2,9 m, účinnou délkou 21,6 m a celkovou délkou 24,2 m (bez tloušťky stěn). Obvodové stěny usazovací nádrže budou z železobetonu tloušťky 250 mm, v nádrži budou osazeny dvě ocelové norné stěny s protikorozní povrchovou úpravou a dva nerezové odběrné žlaby.

V případě čířičů byly navrženy čtyři kusy, každý s účinnou šířkou 7 m, účinnou délkou 4,2 m a účinnou výškou 3,0 m. Pro konstrukci čířičů bude využita ocel s protikorozní povrchovou úpravou, přítok i odběr vody bude realizován otevřenými žlaby z nerezové oceli. Ve flokulačním prostoru každého čířiče je navrženo míchadlo tvořené čtyřmi páry desek s otvory. U jednotlivých dvojic desek je vypočtena plocha otvorů a plocha pádla.

Dále jsou v rámci bakalářské práce zpracovány přílohy ve formě půdorysu, příčného a podélného řezu u obou navržených typů prvního separačního stupně. Výkresy vycházejí z výsledků předchozích výpočtů. Pro lepší názornost jsou navíc zpracována dvě bloková schémata dvoustupňové úpravy vody. Schémata jsou v rozsahu od odběru surové vody přes její úpravu na vodu pitnou až po její akumulaci před distribucí do vodovodní sítě. Společným znakem obou variant je využití břehového odběrného objektu, mechanické předúpravy vody (hrubé a jemné česle), transport přes čerpací stanici, koagulace, druhý separační stupeň ve formě otevřeného evropského rychlofiltru s následnou dezinfekcí a konečnou akumulací. Rozdílný je typ prvního separačního stupně včetně počtu využitých zařízení.

Přínosů této bakalářské práce je hned několik. Je zde sepsán přehled úpravy surové vody z povrchového zdroje na vodu pitnou s využitím dvoustupňové separace. Detailnější pohled na funkci a možné technologické řešení prvního separačního stupně. V rámci praktické části je pak proveden návrh dvou vybraných typů prvního separačního stupně na konkrétní hodnotu výkonu úpravy vody. Výsledky návrhů jsou následně využity pro zpracování výkresové dokumentace obou zařízení. Na závěr jsou uvedeny dvě varianty blokového schématu dvoustupňové úpravy vody, každá z variant využívá jeden z dvojice navržených prvních separačních stupňů a umožňuje tak názorně uvést popisovanou návaznost jednotlivých technologií úpravy vody.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí: úprava a čištění vody*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2815-5.
- [2] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3534-4.
- [3] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. *Úprava vody a balneotechnika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2563-6.
- [4] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ, *VODÁRENSTVÍ Studijní opory: A. ÚPRAVA VODY*. Brno: FAST VUT v Brně, 2006.
- [5] GRÜNWALD, Alexander. *Zdravotně inženýrské stavby 40: úprava vody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-010-1658-7.
- [6] VOSTRČIL, Josef a Igor TESAŘÍK. *Čiřiče na úpravu vody vločkovým mrakem: minulost - přítomnost - budoucnost*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 1999. Práce a studie. ISBN 80-859-0030-0.
- [7] MIHELICIC, James R. a Jimmy CARTER. *Field guide to environmental engineering for development workers: water, sanitation, and indoor air*. Reston, Va.: ASCE, c2009. ISBN 978-0-7844-0985-5.
- [8] BINNIE, Chris., Martin. KIMBER a George. SMETHURST. *Basic water treatment*. 3rd ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2002. ISBN 08-540-4989-4.
- [9] DOLEJŠ, Petr. Možnosti zlepšení provozu úpravny vody optimalizací dávky koagulantu a pH. In: *Sborník příspěvků XIV. mezinárodní vodohospodářské konference Voda Zlín 2010*. Moravská vodárenská, a. s., 2010, s. 91 – 96.
- [10] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Průručka provozovatele úpravny pitné vody*. Líbeznice: Medim, c2005. ISBN 80-239-4565-3.
- [11] EDZWALD, James K. a Johannes. HAARHOFF. *Dissolved air flotation for water clarification*. New York: McGraw Hill, c2012. ISBN 978-0-07-174562-8.
- [12] WANG, Lawrence K. *Flotation technology*. New York: Humana, c2010. ISBN 978-1-58829-494-4.

- [13] DOLEJŠ, Petr. Flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) pro úpravu pitné vody a její první provozní realizace v ČR. *Vodní hospodářství* 4 [online], 2006, s. 99–102. Dostupné z WWW: www.wet-team.cz.

- [14] OŠLEJŠEK, Jiří. *Vodárenství II - Úpravny vody. Návod do cvičení*. Brno: VUT, 1978, 229 s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Blokové schéma jednostupňové úpravy vody bez separačního stupně	8
Obr. 3.2 Blokové schéma úpravy s jednostupňovou separací	9
Obr. 3.3 Blokové schéma úpravy vody s dvoustupňovou separací	10
Obr. 3.4 Blokové schéma úpravy vody s vícestupňovou úpravou	11
Obr. 4.1 Samočistící česle	16
Obr. 4.2 Mechanické mísiče	20
Obr. 4.3 Statorový mísič	20
Obr. 4.4 Vertikální vložkovací nádrž s vyznačením nátok a odtoku upravované vody	21
Obr. 4.5 Vložkovací nádrž se třemi horizontálními pádlovými míchadly na jedné ose	22
Obr. 4.6 Spojení vložkovací nádrže s obdélníkovou usazovací nádrží	23
Obr. 4.7 prostory obdélníkové usazovací nádrže	24
Obr. 4.8 Kruhová usazovací nádrž s vertikálním průtokem	25
Obr. 4.9 Dvoupatrová usazovací nádrž	26
Obr. 4.10 Základní typy lamelových usazováků	27
Obr. 4.11 Vertikální sekce úpravy vody u pyramidálního čířiče	29
Obr. 4.12 Clariflocculator	30
Obr. 4.13 Čířič ČSAV	31
Obr. 4.14 Galeriový čířič	32
Obr. 4.15 Precipitátor s přelivnou hranou vložkového mraku	32
Obr. 4.16 Reactivator	34
Obr. 4.17 Accelator	34
Obr. 4.18 Pracovní schéma Pulsatoru (1. v klidu, 2. při pulzových rázech)	35
Obr. 4.19 Fluorapid	36
Obr. 4.20 Modernější verze francouzského Super - Pulsatoru	37
Obr. 4.21 Schéma uspořádání zařízení flotace pro úpravu pitné vody	40
Obr. 5.1 Schématický podélný řez usazovací nádrže	52
Obr. 5.2 Schématický příčný řez usazovací nádrže	53
Obr. 5.3 Schéma umístění odběrných žlabů na konci nádrže (kótováno v mm).....	55
Obr. 5.4 Schématický obrázek čířiče	56
Obr. 5.5 Schématický obrázek míchadla a pádla čířiče	58

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

č. ... číslo

Sb. ... sbírka

pH ... záporný dekadický logaritmus molární koncentrace vodíkových iontů

BSK₅ ... biochemická spotřeba kyslíku pětidenní

CHSK ... chemická spotřeba kyslíku

CHSK_{MN} ... chemická spotřeba kyslíku stanovená manganistanem draselným

CO₂ ... oxid uhličitý

obr. ... obrázek

Fe ... železo

Mn ... mangan

DN ... jmenovitá světlost potrubí

apod. ... a podobně

ξ ... elektrický potenciál zeta

Al₂(SO₄)₃·18 H₂O ... krystalický síran hlinitý

KNK_{4,5} ... kyselinová neutralizační kapacita při hodnotě pH 4,5

Ca(OH)₂ ... hydroxid vápenatý (hašené vápno)

Na₂CO₃ ... uhličitan sodný (soda)

AlCl₃ ... chlorid hlinitý

NaAlO₂ ... hlinitan sodný

FeCl₃·6 H₂O ... chlorid železitý

Fe₂(SO₄)₃·9 H₂O ... síran železitý

FeSO₄·7 H₂O ... síran železnatý

CaCO₃ ... uhličitan vápenatý (mramor)

PMH ... pádlové míchadlo horizontální

ČR ... Česká republika

ČSAV ... Československá akademie věd

VUT ... Vysoké učení technické

např. ... například

ÚV ... úpravna vody

DAF ... dissolved air flotation (flotace rozpuštěným vzduchem)

ZF ... formazinové jednotky

tzv. ... takzvaný

m v. sl. ... metry vodního sloupce

DDF ... dvousměrné dvouvrstvé filtry

NaClO ... chlornan sodný (chlorové bělidlo SAVO)

Ca(ClO)₂ ... chlornan vápenatý (chlorové vápno)

Mg(ClO)₂ ... chlornan hořečnatý

ClO₂ ... oxid chloričitý

O₂ ... kyslík

UV ... ultra violet (ultra fialové)

NaF ... fluorid sodný

Na₂SiF₆ ... fluorokřemičitan sodný

H₂SiF₆ ... kyselina fluorokřemičitá

PVC ... polyvinylchlorid

KMnO₄ ... manganistan draselný

ČOV ... čistírna odpadních vod

H₂SO₄ ... kyselina sírová

SEZNAM PŘÍLOH

1. Půdorys usazovací nádrže M 1:50, Řez A-A' M 1:50, Řez B-B' M 1:50
2. Půdorys čířiče M 1:50, Řez A-A' M 1:50, Řez B-B' M 1:50
3. Blokové schéma dvoustupňové úpravy vody – Varianta 1
4. Blokové schéma dvoustupňové úpravy vody – Varianta 2

SUMMARY

The bachelor thesis general deals with two stage water treatment, the first separation stage is described in detail. The thesis is separated into two parts.

In theoretical part is described the whole process of two stage water treatment. It means from the water sources to the last part of raw water treatment for drinking water. The technologies are written according to their continuity. The first separation stage is described in detail according to the assignment of the bachelor thesis.

The design of the first separation stage for medium size water treatment plant is at the beginning of practical part of bachelor thesis. The design is done for the settling tank and clarifier. Both types of the first separation stage have designed dimensions according water treatment production. For clarifier there is also done design of stirrer in flocculation space. For both types of equipment, there is a floor plan, a longitudinal section and a cross section. The drawings are based on the results from calculations. There are created a block schemes in two variants to illustrate the continuity of water treatment processes. The only difference between the two schemes is the type and number of the first stage of water treatment. In the first variant there are two rectangular settling tanks with horizontal flow. In the second variant there are four clarifiers with mechanical a mechanical float cloud.